



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»
15.03.04 – «Автоматизация технологических процессов и производств»
23.03.01 Технология транспортных процессов
для студентов очного и заочного обучения

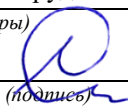
Автор: Хазин М.Л.

Одобен на заседании кафедры

Эксплуатации горного оборудования

(название кафедры)

Зав. кафедрой


(подпись)

Симисинов Д.И.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 3 от 15.11.2021

(Дата)

Рассмотрен методической комиссией
факультета

Горно-механического

(название факультета)

Председатель


(подпись)

Осипов П.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 3 от 19.11.2021

(Дата)

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей
кафедрой автоматике и компьютерных технологий

Заведующий кафедрой

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'В.С. Бочков', is positioned above the printed name.

В.С. Бочков

X12

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

Материаловедение 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 обуславливает 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 нагрева 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 A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_{cm} ?
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 обработка - 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 легирующих 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, нержавеющей, 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 нержавеющей 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 составех 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 НРС. 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, обеспечивающей 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 заэвтектидной 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 некоторых случаях проволока на последних переходах рвется. 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 НРС. 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 840° 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

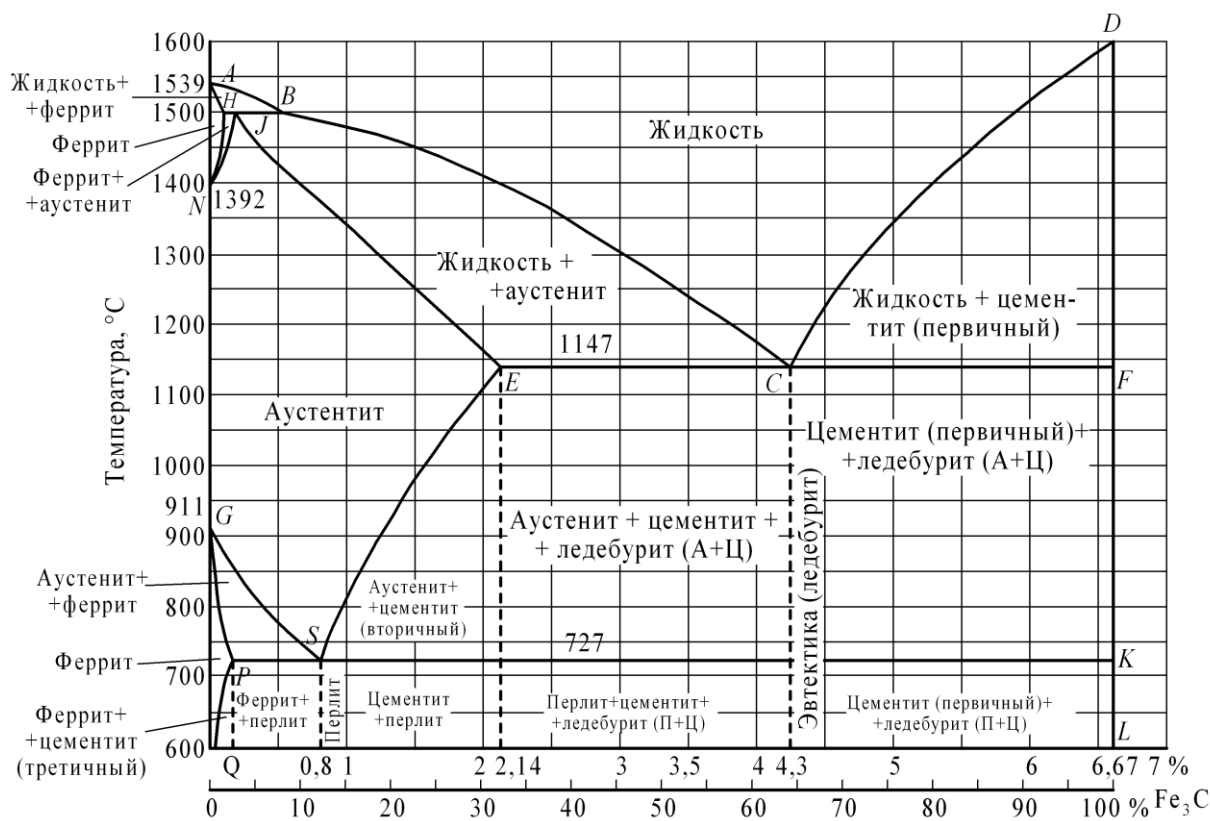


Рисунок 1 – Диаграмма состояния железо-цементит

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 оловянистая деформируемая – ГОСТ 5017-74

Бронза безоловянистая деформируемая – ГОСТ 18175-78

Бронза оловянистая литейная – ГОСТ 613-79

Бронза безоловянистая 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

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

Т. Б. Голубева

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ СЕРВИСА

Учебное пособие

Рекомендовано методическим советом УрФУ для студентов,
обучающихся по программе магистратуры
по направлению подготовки 43.04.01 «Сервис»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2017

ББК У43я73-1 + С206я73-1 + Ч518.14(2)я73-1
Г621

Рецензенты:

В. М. П и щ у л о в, доктор экономических наук,
профессор кафедры истории и экономической теории
Уральского государственного лесотехнического университета;

Л. Н. Ф и т и н а, кандидат педагогических наук, профессор,
начальник Управления по развитию физической культуры, спорта и туризма
Администрации г. Екатеринбурга

Голубева, Т. Б.

Г621 Основы моделирования и оптимизации процессов и систем сервиса : [учеб. пособие] / Т. Б. Голубева ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 108 с.

ISBN 978-5-7996-2109-4

В учебном пособии рассматриваются вопросы моделирования и оптимизации процессов и систем сервиса на основе системного анализа объектов сферы обслуживания. Показаны особенности моделирования сервисной деятельности и распространенные в ее практике модели. Выделены подходы к оптимизации деятельности предприятий сферы сервиса. Особое внимание уделено оптимизации рабочих мест сотрудников предприятий на основе требований эргономики.

Издание предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению «Сервис». Может быть полезно студентам бакалавриата, преподавателям высших и средних специальных учебных заведений, слушателям курсов повышения квалификации, а также всем интересующимся проблемами сферы сервиса.

ББК У43я73-1 + С206я73-1 + Ч518.14(2)я73-1

На обложке:

улица Вайнера – пешеходная зона в центре Екатеринбурга,
Уральский Арбат

ПРЕДИСЛОВИЕ

Актуальность настоящего издания обусловлена введением в учебный план подготовки магистрантов по направлению «Сервис» дисциплины «Моделирование и оптимизация процессов и систем сервиса» как способа проинформировать обучающихся о базовых понятиях моделирования и оптимизации в сфере сервиса.

Следует отметить, что данный курс охватывает широкий круг проблем и потому связан со всеми дисциплинами учебного плана магистратуры направления 43.04.01 «Сервис», так как его цель – совершенствование процессов и систем сервиса, на что ориентированы и все другие дисциплины учебного плана. Выделяется особенно тесная взаимосвязь с дисциплиной «Системный анализ в сервисе».

Цель настоящего издания – сформировать понимание теоретических основ моделирования и оптимизации сервисной деятельности, что станет базой для квалифицированного решения конкретных практических задач, которые будут рассматриваться не только в ходе производственных практик и прохождения итоговой государственной аттестации, но и в дальнейшей профессиональной деятельности выпускника.

При подготовке учебного пособия автором были использованы монографии, учебные пособия, материалы периодической печати и интернета, приведенные в списке рекомендуемой литературы. Особо хотелось бы отметить статьи студентов и магистрантов Уральского федерального университета – А. С. Гуровой, А. А. Исмагиловой, А. В. Парыгина, А. П. Прокопенко, А. Л. Хальясте, Я. В. Суворовой, подготовленные по итогам их научно-исследовательской работы под руководством автора учебного пособия и использованные в настоящем издании в качестве примеров моделирования и оптимизации процессов и систем сервиса. Автор будет благодарна всем, кто пожелает сообщить свои замечания и дополнения.

1. ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

1.1. Бизнес-процесс и его составляющие. Классификация бизнес-процессов

Процесс (от лат. *processus* – продвижение) – это динамическое изменение системы во времени. Любая система осуществляет три ключевых процесса:

1. Получение ресурсов из внешней среды;
2. Внутреннее преобразование ресурсов;
3. Передача продукции во внешнюю среду.

Переходя к процессам сервиса, отметим что под *сервисом* понимается организованное обслуживание в сфере производства и сбыта; совокупность услуг, предоставляемых предприятиями, фирмами клиентам в процессе обслуживания с целью максимального удовлетворения их потребностей. В условиях современной экономики роль сферы сервиса определяется следующими условиями: в сфере сервиса постоянно создаются новые рабочие места; эта сфера увеличивает свою долю в валовом внутреннем продукте страны; за счет нее сокращается время обслуживания домашнего хозяйства, что повышает качество жизни людей.

Цель предприятия сервиса как коммерческого предприятия – максимизация прибыли. Поэтому в деятельности предприятия сферы сервиса ключевую роль играют бизнес-процессы, которые обеспечивают реализацию стратегии бизнеса. В соответствии с определением, сформулированным в стандарте ISO–9001:2000, под *бизнес-процессом* понимают устойчивую, целенаправленную совокупность взаимосвязанных видов деятельности (последовательность работ), которая по определенной технологии преобразует входы в выходы, представляющие ценность для потребителя.

В сервисной сфере такими выходными данными чаще всего являются услуги, предоставляемые клиентам. В соответствии

с ГОСТ Р 50646-2012 «Услуги населению. Термины и определения» и международным стандартом ISO 9004-2 *услуга* – это результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности исполнителя по удовлетворению потребности потребителя. Таким образом, услуга – это деятельность по удовлетворению потребностей людей.

Сервисная деятельность – разновидность экономической активности, направленной на создание общественных благ, оказание услуг, производство сервисных продуктов в рамках рыночных отношений и на базе профессиональной подготовки работников.

Признаки бизнес-процесса:

1. Наличие владельца – должностного лица, имеющего в своем распоряжении ресурсы процесса¹, с определенными правами, зоной ответственности и полномочиями².

2. Существование формализованного описания в виде системы показателей процесса – показателей продукта, эффективности процесса и удовлетворенности потребителей.

3. Наличие регламентов взаимодействия исполнителей в виде *технологии процесса* как порядка выполнения деятельности по преобразованию входов в выходы.

4. Наличие отчетности по процессу.

Существует множество способов классификации бизнес-процессов. По одной из классификаций процессы можно разделить на основные, вспомогательные и управления.

К основным процессам следует относить процессы, добавляющие ценность продукции для потребителя: маркетинг, закупки, производство, хранение, поставка продукции, сервисное обслуживание и др., связанные с продукцией. К основным процессам сервисного предприятия относится *процесс обслуживания* – совокупность

¹ Ресурсы процесса включают информацию и материальные средства, которые владелец распределяет в ходе планирования работ по процессу и учитывает при расчете эффективности процесса как соотношение затраченных ресурсов на полученный результат процесса.

² Управление процессом включает деятельность владельца процесса по анализу данных о процессе и принятию управленческих решений.

операций, выполняемых исполнителем при непосредственном контакте с потребителем в процессе оказания услуги. Процесс обслуживания реализуется, как правило, через следующие формы³:

- 1) обслуживание потребителей в стационарных условиях, что наиболее распространено, удобно и часто единственно возможно;
- 2) выездное обслуживание;
- 3) бесконтактное обслуживание по месту жительства потребителя (пример – коммунальные услуги и др.).

Вспомогательные процессы напрямую не добавляют стоимости и являются по своей сути затратными. К таким процессам обычно относят подготовку кадров⁴; обслуживание оборудования; обеспечение связью, IT-обеспечение; административно-хозяйственное, финансовое и бухгалтерское обеспечение деятельности предприятия; соблюдение требований безопасности и экологичности, другие процессы.

Пример. Для туристского предприятия к основным процессам можно отнести услуги по организации перевозок, размещения, питания туристов, а к вспомогательным – организацию работы офиса и персонала. Основные процессы в данном случае совпадают с основными услугами – трансфер, размещение и питание туристов, в то время как к дополнительным услугам можно отнести услуги по организации экскурсий, страхованию туристов, гидов, переводчиков, услуги по перевозке туристов, ремонту техники, прокату, обмену валюты, предоставлению телефонных, почтовых услуг, бытового обслуживания, права пользования пляжем и т. д.

Следует отметить, что деление процессов на основные и вспомогательные условно, поскольку существенных отличий, с точки зрения потребительских свойств, между ними нет. При этом классификация процессов на основные и вспомогательные не является

³ Форма обслуживания – это способ предоставления услуг потребителю.

⁴ Многие крупные предприятия, занятые в том числе и обслуживанием населения, имеют корпоративные университеты (например, Сбербанк, РЖД). Корпоративные университеты имеются и у крупных предприятий сферы сервиса. Так, Корпоративный университет по менеджменту, финансам и сервису имеет отечественная ресторанная цепь «Елки-палки».

разделением на главные и второстепенные. Вспомогательные процессы не являются для предприятия второстепенными или менее важными. Например, для повышения конкурентоспособности предприятия путем клиентоориентированного сервиса и качественного исполнения услуг очень важна высокая квалификация персонала, которая немислима без обучения, в том числе непосредственно на рабочем месте.

В стандарте ISO 9001:2000 не регламентированы требования к составу процессов и отнесению их к определенной группе. Поэтому число процессов и включение их в любую из названных групп определяет само предприятие.

Говоря про *процессы управления предприятием*, следует отметить, что многие исследователи процессного подхода рекомендуют выделять подпроцессы собственно управления, планирования, улучшения, коммуникации и т. д. При этом требуется прописать критерии измерения их результативности и эффективности. Нельзя забывать, что для небольших предприятий (до 300–500 работников) выделение и описание отдельного процесса управления может быть нецелесообразным. В простых случаях можно обойтись без описания процесса управления, но деятельность управляющего предприятием все равно должна быть регламентирована.

Следует помнить, что в литературе выделяют функциональный, проектный и процессный подходы к управлению предприятием. Определив, какие типы процессов нужны для предприятия, можно переходить к выделению этих процессов и построению системы управления ими.

1.2. Системы сервиса

Система (от др.-греч. σύστημα – составленное из частей, соединение) – объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

Пример. Неорганизованная совокупность (ее примерами может служить содержимое мусорной корзины, случайное скопление людей на улице) лишена каких-либо существенных черт внутренней

организации. Связи между ее составляющими носят внешний, случайный, несущественный характер. Входя в состав такого объединения или покидая его, составляющие не претерпевают каких-либо изменений, что говорит об отсутствии у подобной совокупности целостных, интегративных свойств. Свойства совокупности в целом по существу совпадают с суммой свойств частей (составляющих), взятых изолированно. Следовательно, такая совокупность лишена системного характера.

Примерами распространенных систем в сфере сервисной деятельности являются:

– индустрия гостеприимства – система, объединяющая родственные отрасли экономики, специализирующиеся на обслуживании путешествующих людей через специализированные предприятия – отели, рестораны, туристские агентства, национальные парки, парки культуры и отдыха и др.;

– индустрия развлечений – система, объединяющая родственные отрасли экономики, специализирующиеся на организации отдыха и развлечений людей через специализированные предприятия киноиндустрии, культурно-развлекательные центры, торгово-развлекательные центры, дискотеки, клубы по интересам, парки аттракционов и др.;

– индустрия спорта – система, объединяющая родственные отрасли экономики, связанные с производством, продвижением и сбытом товаров, услуг, организацией и проведением спортивных событий, а также со спонсорством в спорте;

– предприятие сферы сервиса – производственно-экономическая система, объединяющая ряд подразделений технологического и структурно-организационного характера и предназначенная для производства работ и предоставления услуг с целью получения максимально возможной прибыли;

– сервисология – система, объединяющая знания о природе, принципах и методах индивидуального обслуживания населения, учитывающая индивидуальность человека как целостной личности.

Состояние системы – характеристика системы, изменяющаяся во времени и пространстве. Пусть набор переменных величин

$$z(t) = \{z_1(t), z_2(t) \dots z_n(t)\}$$

полностью описывает состояние системы в каждый момент времени t в том объеме, в каком это требуется для целей моделирования. Эти переменные называют *характеристиками / параметрами состояния*.

Пример. Рассмотрим сервисное предприятие – гостиницу. К характеристикам ее состояния можно отнести наличие/отсутствие категории; номерной фонд как совокупность мест и номеров различных категорий, в том числе вместимость и состояние; коэффициент загрузки номерного фонда как отношение занятых мест к общему числу мест в гостинице, выраженное в процентах.

Свойства системы:

1. Система есть совокупность элементов.
2. Наличие существенных связей между элементами и/или их свойствами, превосходящих по силе связи этих элементов с элементами, не входящими в данную систему. Под существенными связями понимаются такие, которые определяют интегративные свойства системы. Указанное свойство отличает систему от простого конгломерата и выделяет ее из окружающей среды в виде целостного объекта.

3. Наличие определенной организации, что проявляется в снижении степени неопределенности системы по сравнению с энтропией системоформирующих факторов, определяющих возможность создания системы. К этим факторам относят число элементов системы, число существенных связей, которыми может обладать элемент.

4. Существование интегративных свойств, т. е. свойств, присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности. Их наличие показывает, что свойства системы хотя и зависят от свойств элементов, но не определяются ими полностью.

*Признаки системы*⁵:

1. Наличие взаимосвязанных частей в объекте.
2. Взаимодействие между частями объекта.

⁵ Признак есть отличительное свойство системы.

3. Упорядоченность данного взаимодействия для достижения общей цели системы.

Комплекс – это совокупность взаимосвязанных систем. В практике сервисной деятельности можно выделить ряд предприятий, являющихся по сути комплексами: торгово-развлекательные и культурно-досуговые центры, мультиплексы⁶, спортивно-оздоровительные и др. Например, современный горнолыжный комплекс может включать в себя систему горнолыжных трасс и подъемников, средства размещения, пункты питания и проката, автостоянку, детскую комнату, SPA-предприятия и др. Все перечисленные системы взаимосвязаны и нацелены на наиболее полное удовлетворение разнообразных потребностей гостей.

1.3. Системы массового обслуживания

Для сервисной деятельности важное значение имеет понятие «системы массового обслуживания». Оно является ключевым в теории массового обслуживания (теории очередей).

Основоположником теории массового обслуживания считается известный датский ученый А. К. Эрланг (1878–1929), который решил ряд задач по теории массового обслуживания с отказами. Термин «теория массового обслуживания» предложил советский математик А. Я. Хинчин (1894–1959). В дальнейшем эта теория в нашей стране разрабатывалась Л. О. Бабешко, Г. Я. Волошиным, Г. П. Климовым, Л. Г. Лабскером, В. М. Стеняевым, Ю. А. Сушковым и др.

Системы массового обслуживания – это системы специального назначения, реализующие выполнение типовых задач с циклическим повторением операций.

⁶ Мультиплекс – многофункциональный комплекс, обязательным компонентом которого является наличие нескольких сравнительно небольших просмотровых кинозалов (100–150 посадочных мест в каждом) для демонстрации фильмов, разнообразный репертуар, современное техническое оснащение, высокий уровень комфорта. В мультиплексе ассортимент сопутствующих услуг очень широк: имеются паркинг для машин, детская комната, кафе, бар, ресторан, и т. д.

Они включают обслуживающие устройства, называемые *каналами, или линиями, обслуживания*. Примеры каналов обслуживания – различные устройства, линии связи, приборы или люди, производящие те или иные операции. Например, транспортные пути, кассиры или операторы. Системы массового обслуживания различаются по своему построению и уровню сложности. Их принято подразделять на одноканальные и многоканальные. Помимо каналов обслуживания, система массового обслуживания содержит следующие элементы:

- 1) входной поток заявок (сюда же включается и поток необслуженных заявок, ушедших без услуги);
- 2) очередь;
- 3) выходящий поток обслуженных заявок.

В зависимости от указанных характеристик система массового обслуживания обладает определенной эффективностью функционирования – *пропускной способностью*. Если какая-либо система массового обслуживания со временем перестает справляться со своими задачами, ее заменяют на более эффективную, которая удовлетворяет объемам заявок.

Пример. В индустрии спорта активно используются такие системы массового обслуживания, как спортивные сооружения (стадионы, спорткомплексы, ледовые арены и пр.), спортивные организации всех организационно-правовых форм (единоличные владения, партнерства, акционерные общества всех типов), билетные кассы, предприятия торговли и многие другие объекты. В спортивной индустрии и других отраслях экономики используется большое количество систем массового обслуживания, каждая из которых содержит различное число каналов обслуживания, имеет свою производительность и организационную структуру.

В. В. Галкин приводит пример прикладного применения теории массового обслуживания в индустрии спорта.

Исходные данные: стадион небольшого города обслуживает касса с одним окном. В дни проведения соревнований численность покупателей билетов возрастает и интенсивность покупок состав-

ляет 0,45 чел/мин. Кассир затрачивает на обслуживание болельщика в среднем 2 мин.

Задание: определить среднее число покупателей у кассы и среднее время, затрачиваемое болельщиком на приобретение билета.

Решение: данная процедура обслуживания моделируется одноканальной системой массового обслуживания с ожиданием без ограничений на длину очереди и на время ожидания. Исходя из характеристик состояния системы, число каналов $n = 1$; интенсивность входного потока $\lambda = 0,45$ чел/мин; среднее время обслуживания одной заявки $T_{об} = 2$ мин., рассчитаем интенсивность потока обслуживания μ и нагрузку системы ρ :

$$\begin{aligned}\mu &= 1/T_{об} = 0,5 \text{ (чел/мин)}, \\ \rho &= \lambda/\mu = 0,45/0,5 = 0,9 \text{ (Эрланга)}.\end{aligned}$$

Тогда среднее число покупателей у кассы определится как

$$N_{сис} = \rho/(1 - \rho) = 0,9/(1 - 0,9) = 9 \text{ (чел.)}.$$

Среднее время, которое болельщик затрачивает на приобретение билета, складывается из среднего времени пребывания в очереди. Его можно подсчитать по формуле

$$T_{сис} = 1/(1 - \rho) = 1/0,5(1 - 0,9) = 20 \text{ (мин.)}.$$

Таким образом, получаем следующий результат: очередь у кассы в среднем составляет 9 человек, а время, затрачиваемое болельщиком на приобретение входного билета на стадион – 20 мин. Очевидно, что такой результат не является удовлетворительным и в «пиковые» периоды администрации стадиона следует подключать к продаже билетов еще одного кассира.

1.4. Понятия «элемент», «связь», «классификация»

Элемент (от лат. *elementium* – стихия, первоначальное вещество) – это минимальный неделимый объект системы, рассматриваемый как единое целое. Следует иметь в виду, что для данной

системы элемент не является абсолютным, однозначно определенным, поскольку система может расчленяться различными способами. Другое расчленение может быть связано с выделением иного элемента. Поскольку элемент выступает как своеобразный предел возможного членения системы, его строение обычно не принимается во внимание в характеристике системы.

Пример. Элементом такой системы, как гостиничная цепь, является отдельно взятое предприятие – гостиница. Однако в другой задаче эта же гостиница может рассматриваться как система, представляющая собой совокупность отдельных подсистем в виде служб (бронирования, приема и размещения, номерного фонда и др.). В свою очередь, службы гостиницы могут быть расчленены на другие подсистемы в виде смен, бригад и т. д.

Элементы объединяются в систему при помощи связей. *Связь* – это взаимообусловленность существования явлений, разделенных в пространстве и во времени. В системном анализе проблема связи является одной из центральных, так как это учение рассматривает мир как единое связанное.

Пример. Любой закон природы и общества есть внутренняя, устойчивая, существенная связь и взаимная обусловленность явлений.

Предварительно связь предметов можно определить таким образом: два или более различных предмета связаны, если по наличию или отсутствию некоторых свойств у одних из них можно судить о наличии или отсутствии тех или иных свойств у других. Выявление связей позволяет познавать предметы не непосредственно, а косвенно – через другие предметы, находящиеся с ними в той или иной связи. Это особенно важно для исследования предметов, не поддающихся непосредственному наблюдению, для разработки стандартных методов расчета, избавляющих от необходимости каждый раз ставить эксперимент, и т. п.

Количество связей, определяемое числом возможных сочетаний между элементами, может быть найдено по формуле

$$C = n(n - 1),$$

где n – количество элементов, входящих в систему.

Пример. Если система состоит из 6 элементов, то

$$C = 6 \cdot (6 - 1) = 30.$$

Но связи между элементами не однозначны, а многозначны и многоплановы. Если допустить, что их можно представить хотя бы в двух сочетаниях, то число состояний резко возрастет и достигнет астрономической цифры 2^{30} . Рассмотреть все указанные состояния нереально.

Классификация – это распределение некоторой совокупности объектов на классы по наиболее существенным признакам. Признак или совокупность признаков, по которым объекты объединяются в классы, является основанием классификации. Умение классифицировать системы и процессы существенно облегчает анализ систем, их моделирование и оптимизацию.

Пример. Рассмотрим классификацию связей. Философы выделяют следующие основания классификации:

- формы движения материи (социальная, биологическая, химическая, физическая и др.);
- формы детерминизма (однозначная, вероятностная, корреляционная);
- характер результата, который дает связь (связи порождения, связи преобразования); направление действия (прямые и обратные);
- тип процессов, которые определяет данная связь (связь функционирования, связь развития, связь управления);
- содержание, которое является предметом связи (связь, обеспечивающая перенос энергии, вещества, информации) и др.

Пример. Для систем сервиса характерны *горизонтальные* и *вертикальные* связи. Основанием данной классификации является принцип разделения труда в соответствии со специализацией работников по профессиональному признаку. *Горизонтальное разделение труда* – это разделение общего процесса труда на различные частные, непрерывные, обособленные виды работ со специализацией производства и исполнителей. *Вертикальное разделение труда* на предприятии сервиса строится на принципах служебной субординации отдельных служб и должностных лиц.

1.5. Система и среда

Исходным моментом в определении системы является ее сопоставление со средой, т. е. *среда* – это все то, что не входит в систему, а система – это конечное множество объектов, определенным способом выделенное из среды. Между средой и системой существует множество связей, с помощью которых реализуется процесс взаимодействия среды и системы. Выделение системы из среды и определение границ их взаимодействия является одной из первоочередных задач системного анализа. От правильности определения границ зависят не только выполняемые функции, эффективность и качество системы, но и нередко сама ее жизнедеятельность. Е. П. Голубков отмечает, что систему выделяет из среды единство целей элементов и подсистем.

Объективно, с точки зрения элементов внешней среды, любая система существует как источник удовлетворения ее потребностей. Из этого следует, что простейшая модель взаимодействия система – среда может быть изображена в виде схемы, представленной на рис. 1.

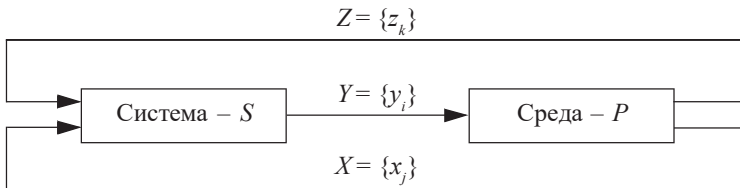


Рис. 1. Модель взаимодействия система – среда

Элементы внешней среды задают системе *множество целей и ограничений*: $Z = \{z_k\}$ и предоставляют *множество ресурсов*: $X = \{x_j\}$.

Выходом из системы является множество *конечных продуктов и услуг*: $Y = \{y_i\}$, ориентированных на удовлетворение потребностей внешней среды. При этом множество конечных продуктов и ресурсов можно классифицировать на группы: материальные – товары, материальные услуги; информационные – информационные

услуги; финансовые – в виде инвестиций, доходов; трудовые – образовательные услуги, услуги аутсорсинга; энергетические – поставки электричества, тепла, воды.

В классификаторе выходов системы, помимо полезных конечных продуктов, выделяют отходы – конечные продукты, оказывающие негативное влияние на внешнюю среду. К отходам предприятий сервиса можно отнести: загрязнителей атмосферы (автомобильный транспорт, кухня); загрязнителей гидросферы (стоки канализации); загрязнителей литосферы (твердый мусор – пластик, бумага, пищевые отходы, вышедшие из строя люминесцентные лампы и др.); шумовые загрязнения (концертная, анимационная деятельность, работа оборудования); вибрационные загрязнения (аттракционы); загрязнения от электромагнитных излучений (работа оргтехники, сотовой связи).

К типичным ограничениям в сфере сервиса можно отнести нормативные акты международного, федерального⁷, регионального

⁷ ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности; ГОСТ Р 50645-94. Туристско-экскурсионное обслуживание. Классификация гостиниц; ГОСТ Р 50644-2009. Туристские услуги. Требования по обеспечению безопасности туристов; ГОСТ Р 50646-2012. Услуги населению. Термины и определения; ГОСТ Р 50647-2010. Общественное питание. Термины и определения; ГОСТ Р 50681-2010. Туристские услуги. Проектирование туристских услуг; ГОСТ Р 50690-2000. Туристские услуги. Общие требования; ГОСТ Р 50691-2013. Услуги населению. Модель системы обеспечения качества услуг; ГОСТ Р 50763-2007. Услуги общественного питания. Продукция общественного питания, реализуемая населению. Общие технические условия; ГОСТ Р 50935-2007. Услуги общественного питания. Требования к персоналу; ГОСТ Р 51185-2008. Туристские услуги. Средства размещения; ГОСТ Р 52024-2003. Услуги физкультурно-оздоровительные и спортивные. Общие требования; ГОСТ Р 52025-2003. Услуги физкультурно-оздоровительные и спортивные. Требования безопасности потребителей; ГОСТ Р 53103-2008. Деятельность выставочно-ярмарочная. Термины и определения; ГОСТ Р 53524-2009. Конгрессная деятельность. Термины и определения; ГОСТ Р 53995-2010. Услуги общественного питания. Общие требования к методам и формам обслуживания на предприятиях общественного питания; ГОСТ Р 54601-2011. Туристские услуги. Безопасность активных видов туризма. Общие положения; ГОСТ Р 54609-2011. Услуги общественного питания. Номенклатура показателей качества продукции общественного питания; ГОСТ Р 55529-2013. Объекты спорта. Требования безопасности при проведении спортивных и физкультурных мероприятий. Методы испытаний.

и муниципального уровней; отраслевые нормативные акты; риски различных видов, при этом группы возможных опасностей формируют угрозы; взаимодействие с обществом. Говоря о последнем, обозначим группы заинтересованных и незаинтересованных в существовании предприятия лиц.

Можно выделить пять основных групп лиц, заинтересованных в успешной деятельности предприятия:

1. Клиенты (потребители основных продуктов и услуг, производимых предприятием).

2. Собственники (акционеры, инвесторы, аффилированные лица).

3. Персонал (сотрудники и руководители организации).

4. Поставщики входящих материалов, комплектующих и продуктов, а также субподрядчики и партнеры, аутсорсинговые компании.

5. Общество в лице внешних организаций, использующих результаты деятельности предприятия: налоговые, федеральные и муниципальные органы, общественные организации.

При проведении анализа процессов и систем сервиса не следует забывать и о наличии групп лиц, не заинтересованных и даже противодействующих успешной работе предприятия:

1. Конкуренты – предприятия, оказывающие аналогичные услуги.

2. Обиженные клиенты. В. К. Карнаухова и Т. А. Краковская приводят пример одного из исследований, согласно которому 91 % недовольных клиентов больше никогда не обратится на предприятие сервиса и каждый из них поделится рассказом о своих проблемах минимум с девятью другими потенциальными клиентами. Установлено, что недовольство клиента работой фирмы распространяется в 100 раз быстрее, чем добрая слава о ней.

3. Нелояльный персонал, в том числе уже неработающие сотрудники.

4. Некоторые общественные организации. Яркими иллюстрациями этого пункта являются массовые ситуации противодействия объединений жильцов многоквартирных домов размещению

на первых этажах зданий заведений, нарушающих комфорт жителей. Известно мощное противодействие общества игорному бизнесу в России, приведшее к принятию в конце 2006 г. Федерального закона «О государственном регулировании деятельности по организации и проведению азартных игр», суть которого состояла в укрупнении и концентрации игорного бизнеса в четырех специальных игорных зонах.

1.6. Цели системы

Цели системы – это желаемое состояние выходов системы; требуемые внешней средой результаты деятельности системы, заданные на множестве выходных конечных продуктов. Исследователи подчеркивают, что системы создаются и существуют во имя осуществления какой-либо цели. В случае предприятия часто употребляют понятие «миссия», означающее его основную цель, смысл существования.

Функция системы – это правило достижения поставленной цели, описывающее поведение системы и направленное на получение результатов, предписанных назначением системы. К способам описания функции системы относятся: *алгоритмический* – словесное описание в виде последовательностей шагов, которые должна выполнять система для достижения цели; *аналитический* – в виде математических зависимостей: теории множеств, теории случайных процессов, теории дифференциального или интегрального исчисления и т. п.; *графический* – в виде диаграмм, графиков зависимостей и др.; *табличный* – в виде таблиц, отражающих основные зависимости. Приведенные способы описания функций систем широко применяются в моделировании.

Эффективность системы – это степень соответствия системы своей цели. Эффективность систем обычно оценивается набором показателей (критериев) эффективности.

Множество возможных целей можно разделить на два класса: *финитные* (конечные, терминальные) и *инфинитные* (бесконечные). Финитные цели характеризуют определенный результат,

который должен быть получен во времени и в пространстве. Например, обеспечение прибыли предприятия к концу текущего года в размере 10 млн руб. Инфинитные цели определяют направление деятельности. К данному классу целей относится, например, увеличение прибыльности предприятия, стабильность его работы, снижение издержек производства и др.

Выбор того или иного класса целей зависит от характера решаемой проблемы. Большинство проблем являются краткосрочными, оперативными. Цели решения этих проблем должны быть конкретными, вполне определенными и, следовательно, финитными. К ним применяются требования соответствия SMART-критериям:

- *Specific* – конкретная;
- *Measurable* – измеримая;
- *Achievable* – достижимая;
- *Realistik* – реалистичная;
- *Timed* – ограниченная по времени.

По отношению к состоянию целей система может находиться в двух режимах: функционирования и развития. В первом случае считается, что система полностью удовлетворяет потребности внешней среды и процесс перехода ее и ее отдельных элементов из состояния в состояние происходит при постоянстве заданных целей. Во втором случае считается, что система в некоторый момент времени перестает удовлетворять потребностям внешней среды и требуется корректировка прежних целевых установок.

Учитывая, что практически все системы относятся к классу многоцелевых систем, следует рассматривать простые (частные) цели системы и сложные (комплексные) цели. Так, для достижения успеха в бизнесе можно ограничиться заданием целей в основных областях деятельности. Например:

- максимизация прибыли и объема выпуска продукции (услуг);
- минимизация затрат ресурсов, в том числе финансовых;
- максимизация эффективности инноваций;
- минимизация социальной напряженности;
- минимизация нарушений экологического законодательства.

В современном бизнесе все сотрудники предприятия должны работать на его благо, для чего необходима система мотивации труда. В этих условиях одним из эффективных инструментов менеджмента становится концепция управления по целям Питера Друкера (1909–2005). Она основана на том, что каждый член организации представляет себе цели организации и стремится к их достижению. При этом деятельность сотрудников оценивается по ее результатам, но не по количеству отработанного времени, а сами сотрудники имеют право отстаивать свои собственные цели. Кстати, установление личных целей придает сотруднику высокую мотивацию профессиональной деятельности. Многочисленные социологические исследования показывают, что разумный человек всегда стремится достигнуть компромисса *между личными и профессиональными целями*. Личные цели, как правило, определяются человеком в виде определенного стандарта удовлетворения своих потребностей. Одним из возможных вариантов задания таких стандартов для определения личных целей являются следующие семь направлений целеполагания: вера (религия), идеалы; физическое состояние; семья; душевное равновесие; друзья; финансовое благополучие; карьера.

1.7. Структура системы

Структура (от лат. *structura* – строение, расположение, порядок) – это совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т. е. сохранению основных свойств при различных внутренних и внешних изменениях.

При проведении анализа используются два определяющих понятия структуры: материальная структура и формальная структура. В общем случае под *формальной структурой* понимается совокупность элементов и их отношений, необходимых и достаточных для достижения системой поставленных целей. Из определения следует, что формальная структура описывает нечто общее, присущее системам одного типа. В свою очередь, *материальная*

структура является носителем конкретных типов и параметров элементов системы и их взаимосвязей. Фиксированной цели соответствует, как правило, одна и только одна формальная структура; одной формальной структуре может соответствовать множество материальных структур.

Для предприятий сервиса характерны *организационные структуры управления* как совокупности управленческих звеньев, расположенных в строгой соподчиненности и обеспечивающих взаимосвязь между управляющей и управляемой системами. Организационная структура управления складывается из состава, соотношения, расположения и взаимосвязи отдельных подсистем организации. Создание такой структуры направлено прежде всего на распределение между отдельными подразделениями организации прав и ответственности.

В структуре управления предприятием сервиса выделяют следующие элементы: звенья (отделы), уровни (ступени) управления и связи – горизонтальные и вертикальные. В основе образования *звена управления* лежит выполнение отделом определенной функции управления. Устанавливающиеся между отделами связи имеют горизонтальный характер.

Под *уровнем управления* понимают совокупность звеньев управления, занимающих определенную ступень в системе управления гостиницей. Ступени управления находятся в вертикальной зависимости и подчиняются друг другу: менеджеры более высокой ступени управления принимают решения, которые конкретизируются и доводятся до нижестоящих звеньев.

В управленческой практике сферы обслуживания наиболее распространены следующие типы организационных структур: линейный (рис. 2); линейно-функциональный (рис. 3); дивизиональный (филиальный).

Преимущества линейной организационной системы управления:

1. Единство и четкость распоряжений.
2. Согласованность действий исполнителей.
3. Простота управления (один канал связи).

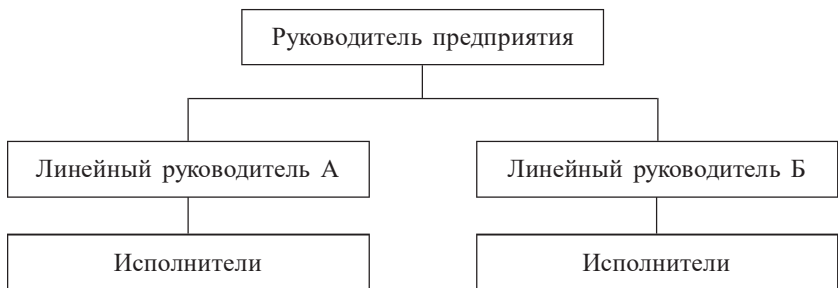


Рис. 2. Линейная структура управления предприятием

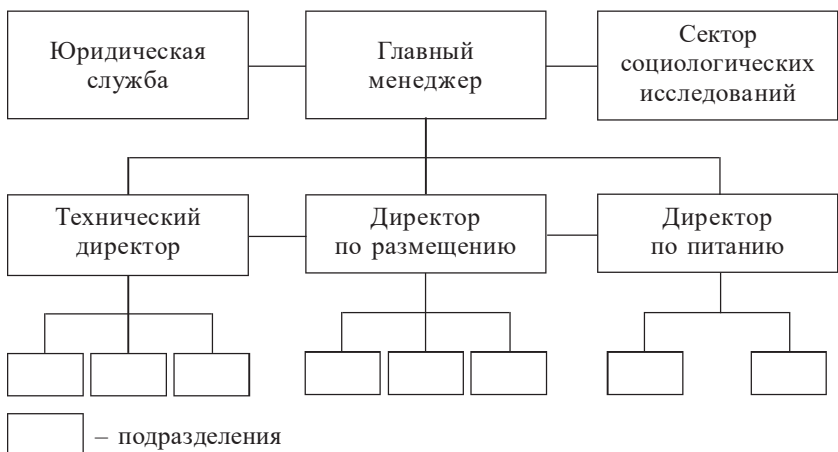


Рис. 3. Линейно-функциональная структура управления предприятием

4. Четко выраженная ответственность.
5. Оперативность в принятии решений.
6. Личная ответственность руководителя за конечные результаты деятельности своего подразделения.

Недостатки линейной организационной системы управления:

1. Высокие требования к руководителю, который должен быть всесторонне подготовлен по всем функциям управления.
2. Перегруженность руководителя по причине отсутствия звеньев по планированию и подготовке решений.
3. Концентрация власти в управляющей верхушке.

Линейная структура управления применяется на небольших предприятиях или филиалах крупных предприятий.

Преимущества линейно-функциональной структуры:

1. Лучшая подготовка решений и планов специалистами.
2. Освобождение главного руководителя от детального анализа проблем.

Недостатки линейно-функциональной структуры:

1. Отсутствие тесных взаимосвязей и взаимодействия на горизонтальном уровне между производственными отделениями.
2. Недостаточно четкая ответственность, так как готовящий решение, как правило, в его реализации не участвует.
3. Чрезмерно развитая система связей по вертикали, т. е. тенденция к чрезмерной централизации.

Дивизиональная (филиальная) структура управления предприятием сервиса. Ключевыми фигурами управления являются управляющие филиалами. Филиалы выделяются с учетом критериев: во-первых, видов выпускаемой продукции или предоставляемых услуг (продуктовая специализация); во-вторых, ориентацией на определенные группы потребителей (потребительская специализация); в-третьих, обслуживаемых территорий (территориальная или региональная специализация).

Преимущества дивизиональной структуры:

1. Более тесная связь с потребителями и рынком.
2. Быстрая реакция на изменения, происходящие во внешней среде.
3. Снижение нагрузки на верхний эшелон управления, который получает возможность сосредоточиться на стратегическом менеджменте организации в целом.

Недостатки дивизиональной структуры:

1. Структура управления усложняется за счет введения промежуточных уровней управления, созданных для координации работы филиалов.
2. Дублирование функций управления на различных уровнях ведет к росту затрат на содержание управленческого аппарата.

Рассмотренные организационные структуры управления являются формальными и могут стать материальными применительно к конкретному объекту управления.

При проведении системного анализа на этапе изучения формальных и материальных структур системы обычно решаются задачи определения:

- 1) соответствия существующей структуры новым целям и функциям системы;
- 2) необходимости реорганизации существующей структуры либо проектирования принципиально новой структуры;
- 3) вида распределения (перераспределения) новых и старых функций системы по элементам структуры.

1.8. Программа развития

Достижению целей системы могут способствовать планы, программы и др. *Программа* – комплекс мероприятий, намеченный к планомерному осуществлению, направленный на достижение единой цели, приуроченный к определенным срокам и обеспеченный необходимыми ресурсами.

Комплексная программа – программа, направленная на приоритетное решение широкого круга взаимосвязанных важнейших проблем, определяющих развитие общественного производства. Примерами комплексных программ являются государственные программы Российской Федерации в виде систем мероприятий и инструментов государственной политики, обеспечивающих в рамках реализации ключевых государственных функций достижение приоритетов и целей государственной политики в сфере социально-экономического развития и безопасности.

Пример. На сайте Государственных программ Российской Федерации представлена информация, имеющая непосредственное отношение к сфере сервиса: направление «Новое качество жизни» подразумевает доступность услуг образования и здравоохранения требуемого качества; доступ к культурным благам; условия, позволяющие гражданам систематически заниматься физической культурой и спортом; «Развитие культуры и туризма на 2013–2020 гг.» (принята Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 317);

«Развитие физической культуры и спорта» (принята Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 302) и др.

Другим примером комплексных программ являются региональные целевые программы, взаимоувязанные по содержанию, ресурсам, исполнителям, срокам реализации комплексных мероприятий правового, экономического, социального характера, обеспечивающие стратегическое и оперативное решение острых проблем регионального развития.

Пример. На сайте Министерства экономики Свердловской области представлены областные целевые программы, ориентированные, в частности, на развитие сферы сервиса и туризма: «Развитие туризма в Свердловской области на 2011–2016 гг.» (принята Постановлением Правительства Свердловской области от 11.10.2010 г. № 1475-ПП); «Развитие физической культуры и спорта в Свердловской области на 2011–2015 гг.» (принята Постановлением Правительства Свердловской области от 11.10.2010 г. № 1481-ПП) и др.

Рост – процесс, характеризующийся изменением количества. Рост не всегда сопровождается развитием.

Развитие – процесс, характеризующийся закономерным, направленным изменением качества. Развитие часто сопровождается ростом.

В настоящее время особую актуальность стали приобретать процессы разработки и реализации программ развития. *Программа развития* – документ, на основании которого осуществляется целенаправленная работа по развитию системы (отрасли, территории, предприятия, организации). Программа развития по своей сути является моделью развития предприятия как системы.

Программа развития разрабатывается для решения актуальных, общественно значимых проблем. В ней должны быть обоснованы перспективность и эффективность внедряемых инноваций и изменений инновационного характера, обозначаются необходимые для этого возможности и условия: кадровые, материально-технические и др., четко указываются цели и детально прорабатываются планы их достижения, определяются надежные источники финансирования, обеспечивающие успешную реализацию про-

граммы: бюджетные средства, внебюджетные средства учредителя; средства от коммерческой деятельности; спонсорские средства партнеров и др.; целевое финансирование по грантам, проектам.

Программа развития строится на стратегии развития предприятия. Различают базовые типы стратегий:

1. Локальные изменения, предусматривающие параллельное улучшение и обновление деятельности отдельных участков работы предприятия.

2. Модульные изменения, предполагающие осуществление нескольких комплексных, не связанных между собой нововведений; внутри модуля могут координироваться действия многих исполнителей;

3. Системные изменения, которые предусматривают полную реконструкцию предприятия и затрагивают все компоненты его деятельности (цели, содержание, организацию).

Если в основе программы лежит стратегия системных изменений, то выделяют этапы разработки этой программы:

- 1) сбор информации и анализ состояния объекта;
- 2) формулирование целей и соответствующей новой концепции объекта, стратегии достижения целей;
- 3) разработка детальной, привязанной к конкретным срокам программы в виде плана работы по достижению целей;
- 4) экспертиза программы.

1.9. Системный анализ и системный подход к решению проблем

Анализ (от греч. *analysis* — разложение, расчленение) – это процесс определения свойств, присущих системе. В процессе анализа на основе сведений о функциях и параметрах элементов, входящих в состав системы, и сведений о структуре системы определяются характеристики, описывающие свойства, присущие системе в целом.

Умение распознать систему, декомпозировать ее на элементарные составляющие, определить законы управления каждой подсистемой и вновь синтезировать систему требует разработки ряда

специальных формальных моделей, процедур, алгоритмов. Наука, в рамках которой получили развитие исследования, направленные на решение вышеобозначенных проблем, получила название «теория систем» – «системный анализ». Эта теория зародилась в 30-х гг. XX в. и в 50-е гг. оформилась как самостоятельное научное направление.

У истоков системного анализа как науки стояли биолог Людвиг фон Бергаланфи, специалист по математическим проблемам в области биологии и психологии Анатолий Рапопорт, экономист Кеннет Боулдинг и др. В дальнейшем исследования были продолжены многочисленными зарубежными и отечественными учеными: математиком Михайлом Месаровичем, философами Александром Богдановым, Вадимом Садовским, Авениром Уемовым и др. Системному анализу в сфере сервиса посвящены труды современных авторов, в том числе Л. Н. Абуталиповой, С. Б. Волохина, О. М. Горелик, В. К. Карнауховой, В. Н. Сенаторова, Т. И. Сидоровской, Р. Р. Фаткуллиной. В. А. Силич и М. П. Силич дают следующее определение системного анализа:

1) с *практической* стороны системный анализ – это система методов исследования или проектирования сложных систем для ликвидации проблем;

2) с *методологической* стороны системный анализ является прикладной диалектикой;

3) с *методической* стороны системный анализ отличается междисциплинарным и наддисциплинарным характером и вовлечением в работу как неформальных, эвристических, экспертных методов, так и эмпирических, экспериментальных методов, а также, при возможности и необходимости, строгих формальных математических методов.

Одной из ранних форм системного анализа является системный подход⁸. *Системный подход* – это направление методологии

⁸ Системный подход имеет достаточно древнюю историю. Так, сам термин «система» появился в античной Греции 2500–2000 лет до н. э. Он характеризовал упорядоченность и целостность *естественных* объектов. Термин «синтагма» – упорядоченность и целостность *искусственных* объектов, прежде всего продуктов познавательной деятельности.

научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы. Большой вклад в развитие системного подхода внесли такие известные философы и естествоиспытатели прошлого, как Аристотель (384–322 гг. до н. э.), Николай Коперник (1473–1543), Галилео Галилей (1564–1642), Исаак Ньютон (1642–1727), Иоганн Ламберт (1728–1777), представители немецкой классической философии Иммануил Кант (1724–1804), Иоганн Фихте (1762–1814), Георг Вильгельм Фридрих Гегель (1770–1831), ученые-естествоиспытатели XIX–XX вв., создатели марксизма-ленинизма.

Толчком к началу анализа процесса или системы, как правило, является возникновение проблемной ситуации. Понятие проблемной ситуации включает понятие *проблемы* как несоответствие между желаемым и фактическим состоянием и понятие *ситуации* как комплекса условий, в которых существует проблема.

К *источникам информации* о проблемной ситуации можно отнести распорядительную (постановления, приказы, распоряжения и др.), отчетную и статистическую документацию, результаты наблюдений, научные исследования и проведение экспериментов, мнения экспертов.

Проблемы в соответствии с критерием глубины их познания можно разделить на три класса:

а) количественно сформулированные проблемы, в которых существенные зависимости выяснены настолько хорошо, что могут быть выражены в числах и символах, количественных (математических) моделях;

б) качественно выраженные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны. В дальнейшем они могут быть выражены в качественных (текстовых, вербальных) моделях;

в) смешанные проблемы, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причем качественные малоизвестные и неопределенные стороны проблемы имеют тенденцию доминировать.

Для решения *количественно сформулированных проблем* применяются математические модели и методы (линейного, нелиней-

ного, динамического программирования, теории массового обслуживания, теории игр и т. д.) для отыскания оптимальной стратегии управления целенаправленными действиями. Проблема применения методов исследования операций состоит в том, чтобы правильно подобрать типовую или разработать новую математическую модель, собрать необходимые исходные данные и убедиться путем анализа исходных предпосылок и результатов математического расчета, что эта модель отражает существо решаемой задачи.

Для решения *качественно сформулированных проблем* широко применяется эвристический метод. При этом опытный специалист (эксперт) собирает максимум различных сведений о решаемой проблеме, вживается в нее и на основе интуиции и суждений вносит предложения о целесообразных мероприятиях. При использовании эвристических методов отсутствует какая-либо упорядоченная логическая процедура отыскания решения. При решении проблемы эксперт полагается на собственный опыт и опыт своих коллег, профессиональную подготовленность, изучение аналогичных проблем методом ситуаций, но не на четко сформулированную методику.

К *смешанным проблемам*, для решения которых и предназначен системный анализ, относится большинство наиболее важных задач крупного масштаба. Типичными проблемами такого рода являются следующие проблемы:

- а) намеченные для решения в будущем;
- б) те, которые сталкиваются с широким набором альтернатив;
- в) зависят от текущей неполноты технологических достижений;
- г) требуют больших вложений капитала и содержат элементы риска;
- д) внутренне сложные вследствие комбинирования ресурсов, необходимых для их решения;
- е) у которых не полностью определены требования стоимости или времени.

Важным является вопрос о мнимых проблемах – проблемоподобных структурах, которые не являются проблемами, но либо ошибочно принимаются за них, либо сознательно выдаются за таковые.

В основе возникновения ошибок при формулировании проблем лежат мировоззренческие, методологические, идеологические и прочие заблуждения. Но вымышленные и убедительно обоснованные трудности могут способствовать получению льгот, субсидий, преференций и других благ.

К способам обращения с реальной проблемой можно отнести следующие:

- не решать проблему, игнорировать ее⁹;
- решать частично, сделать что-нибудь с достаточно хорошим результатом;
- решить проблему полностью и получить наилучший результат;
- устранить, растворить проблему, переделать либо саму проблемную ситуацию, либо ее окружение.

Содержанием анализа проблемной ситуации являются шесть этапов:

I этап. Определение существования проблемы и ее принадлежности. Включает проверку истинности формулировки проблемы и ее принадлежности данному органу управления. Практика показывает, что нередки случаи, когда ставятся мнимые проблемы или проблемы, не относящиеся к компетенции данного органа управления. Решение таких проблем отвлекает ресурсы от решения реальных проблем.

II этап. Определение новизны проблемной ситуации. Если существуют прецеденты или аналогии, то имеется возможность применить прошлые решения в настоящей проблемной ситуации. В случае принципиальной новизны проблемной ситуации приходится решать задачу принятия решений заново, создавая прецедент, который может быть использован в будущем.

III этап. Установление причин возникновения проблемной ситуации.

IV этап. Определение взаимосвязи с другими проблемами. Часто в процессе управления не выполняется функция выявле-

⁹ Способ может иметь место в условиях динамично изменяющейся ситуации, которая характеризуется быстрым появлением и исчезновением некоторых задач в рамках существующей проблемной ситуации.

ния проблем. Для реализации этой функции необходимо организовать систематический сбор информации о состоянии системы и внешней среды и проводить анализ степени достижения целей.

Большое значение имеет прогнозирование появления проблем в будущем. Прогнозирование проблем устраняет неожиданность их появления и, следовательно, увеличивает время для подготовки решения. В этих условиях деятельность руководителя в большей степени приобретает планомерный характер, уменьшается количество быстрых и поэтому недостаточно проработанных решений. Задача прогнозирования в зависимости от имеющейся информации может решаться тремя способами:

Первый способ: при наличии формальной модели процесса, адекватно описывающей события во времени, прогнозирование событий осуществляется на основе модели.

Второй способ: модель явления отсутствует, но имеются статистические данные за предшествующий период. Обработка данных позволяет экстраполировать их на будущее развитие процессов.

Третий способ: отсутствуют как модель, так и статистические данные, поэтому используются экспертные оценки. Для получения общей картины развития событий на первом этапе широко используется такая форма экспертной оценки, как написание сценария. Сценарий позволяет выделить характерные события, которые могут быть проанализированы более обстоятельно путем проведения экспертной оценки в форме анкетирования и дискуссии.

Во многих случаях анализ проблемной ситуации позволяет выявить целую совокупность взаимосвязанных проблем. При этом возникает необходимость классификации этих проблем на главные и второстепенные, общие и частные, срочные и несрочные. При анализе проблемной ситуации необходимо установить возможные взаимосвязи рассматриваемой проблемы с другими известными проблемами. Определение таких взаимосвязей позволяет более четко и глубоко выявить причинно-следственную зависимость возникновения анализируемой проблемы и способствует выработке комплексного решения.

В э т а п. *Определение степени полноты и достоверности информации о проблемной ситуации.* Проблемную ситуацию необходимо описывать по определенной системе, сущностью которой является структура информации и логическая последовательность ее изложения¹⁰. Основными элементами описания проблемной ситуации должны быть следующие элементы: сущность проблемы; возникновение и развитие проблемной ситуации; основные факторы и условия ситуации; актуальность и срочность решения проблемы; источники информации, их надежность; степень полноты и достоверности информации (насколько полны и точны данные).

В случае полной и достоверной информации нетрудно сформулировать сущность проблемной ситуации, цель, ограничения и альтернативные варианты решений.

Если же имеет место неопределенность информации, то необходимо рассмотреть две возможные альтернативы:

1. Осуществить комплекс мер по получению недостающей информации.
2. Отказаться от попытки получения дополнительной информации и принимать решение в условиях имеющейся неопределенности. Выбор той или иной альтернативы определяется возможностью получения дополнительной информации, располагаемым временем и ресурсами для принятия решения.

Получение необходимой информации рассматривается теорией как проведение эксперимента. *Эксперимент* – это система операций, воздействий и/или наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Существует научное направление, занимающееся планированием проведения экспериментов с целью оптимального распределения имеющихся ресурсов для получения максимума информации.

В том случае, если выбрана альтернатива, связанная с принятием решения в условиях неопределенности, проблемная ситуация

¹⁰ Еще философ Древнего Рима Марк Фабий Квинтилиан (ок. 35 – ок. 96) утверждал, что любую ситуацию можно полностью описать, руководствуясь семью вопросами: что, где, когда, кто, почему, с какой целью, при каких условиях? Эти вопросы определяют структуру изложения информации и позволяют детализировать описание проблемной ситуации.

описывается неполно и, возможно, недостоверно. Поэтому возникает необходимость формирования гипотетических ситуаций. Формирование множества гипотетических ситуаций является творческим процессом, требующим специальных знаний, широкой эрудиции и большого опыта в рассматриваемой области. Поэтому для формулирования возможных альтернативных ситуаций должны привлекаться высококвалифицированные эксперты. Общих методов для генерации альтернативных ситуаций нет.

Имеющиеся рекомендации сводятся к следующему. Альтернативные гипотетические ситуации (гипотезы, версии) должны быть независимы и образовывать полную группу, т. е. включать все возможные варианты событий. Ситуации описываются содержательно и могут включать количественные характеристики, в том числе характеристику достоверности-вероятности ситуаций. Сумма вероятностей независимых ситуаций, образующих полную группу, равна единице. Если возникают трудности в определении полной группы, то формируется ситуация «все остальные неизвестные ситуации», которой приписывается определенная вероятность. В дальнейшем эта ситуация может быть уточнена и раскрыта в виде ряда конкретных ситуаций. Формирование множества альтернативных гипотетических ситуаций обеспечивает уменьшение исходной неопределенности, поскольку становится ясным полный перечень ситуаций, появление которых рассматривается как случайное, но с определенными вероятностями.

VI этап. *Определение возможности разрешимости проблемы.* Необходимо оценить возможность решения проблемы в существующих условиях, поскольку нет смысла разрабатывать решение для явно неразрешимой проблемы.

Качественное выполнение анализа проблемной ситуации способствует более эффективной работе лица, принимающего решения, и экспертов по формированию вариантов решений и выбору оптимального из них, что приводит к уменьшению вероятности ошибочных действий.

Для проведения анализа проблемной ситуации используется широкий набор *эвристических* (мозговой атаки – мозгового штурма)

методов, эвристических вопросов, свободных ассоциаций, инверсии, эмпатии – личной аналогии, синектики, организованных стратегий, многомерных матриц) и *формальных методов* (индукция и дедукция, классификация, группировка, систематизация, обобщение и другие методы обработки и анализа информации).

1.10. Системное мышление

Существует мнение, что для применения системного анализа человеку требуется системное мышление.

Системное мышление – это способ мышления, в центре которого находятся взаимоотношения между частями, взаимодействие которых образует целенаправленное целое. Системное мышление с его выявлением связей и закономерностей противопоставляется линейному¹¹, где выявляются вещи и мгновенные состояния, рассматривается только одна причинная линия. Системному мышлению и проблеме его формирования посвящены работы таких зарубежных авторов, как Р. Акофф, Д. Дернер, Р. Друдсон, Д. Маркам, С. Смит, М. Кхалса, М. И. О’Коннор, Г. Райф; отечественных авторов – Н. В. Городецкой, Н. И. Козлова, М. Ю. Рыбакова, Г. В. Сориной, В. Н. Спицнаделя, А. Г. Теслинова, Л. И. Шрагиной и др. Показано, что системное мышление может быть как целеориентированным (что делать?), так и причинно-следственным (кто виноват?).

В. Н. Спицнадель пишет о том, что системное мышление развито не у всех: лишь 2–8 % населения владеют стихийным системным анализом. Можно ли мириться с таким положением в случае подготовки магистров сервиса? На наш взгляд, нет, и в данном случае хотелось бы отметить, что отсутствие способностей отличить главное от второстепенного, управлять в соответствии с целью, выделять заинтересованных в работе предприятия и противодействующих ему по объективным причинам лиц, видеть сильные

¹¹ Линейное мышление наиболее распространено в быту. Часто люди винят в своих бедах конкретное лицо (члена семьи, начальника), обстоятельства (не хватает денег) и т. п., но очень редко стараются рассматривать существующие проблемы как взаимосвязанную систему. В этом корень многих личных проблем.

и слабые стороны своего предприятия, представлять его возможности и угрозы существованию приводит:

– во-первых, к удручающему положению некоторых молодых специалистов и начинающих предпринимателей с хорошими намерениями, но без наставников, опыта разрешения производственных ситуаций, оценки рисков и эвристической деятельности, которые могли бы способствовать формированию системного мышления и отчасти компенсировать его отсутствие;

– во-вторых, как показано современными исследователями, всесторонне развитая личность – это педагогический миф. Между тем применение системного подхода на практике требует использования знаний не только смежных, но весьма удаленных друг от друга дисциплин. В крупных организациях этот вопрос решается созданием организационной структуры управления, включающей команды из профессионалов разных сфер деятельности. В организациях же малого и среднего бизнеса сферы обслуживания населения такой способ работы часто экономически неприемлем, а менеджеры, не обладающие системным мышлением, могут способствовать развалу организации;

– в-третьих, нельзя не отметить тот факт, что системный подход с его творческим характером, признанием роли интуиции слабо подвергается стандартизации и, как следствие, малотехнологичен. Специалисты сходятся во мнении о целесообразности применения системного анализа при проектировании систем сервиса, однако масштабы реального использования аппарата системного подхода в сфере обслуживания пока невелики. Этот факт во многом объясняется неготовностью персонала к его применению;

– в-четвертых, интересно, что практически все обучающиеся отмечают, что системный анализ полезен или просто необходим при решении внутриличностных и межличностных проблем. Педагоги также отмечают большую роль освоения системного анализа для гармоничного развития человека, что дает ему неоспоримые преимущества в будущем.

Наконец, как показывают педагогические наблюдения, знания по применению системного анализа на практике востребованы

магистрами сервиса. Например, у некоторых из них вызывает затруднение выполнение аналитического обзора источников информации при подготовке аннотаций, рефератов и курсовых работ. А многие студенты бакалавриата пытаются стихийно использовать в курсовых работах системный либо комплексный подход, описывая деятельность конкретных предприятий и предлагая разрешение той или иной проблемной ситуации.

Н. В. Городецкая показывает, что существуют два пути развития системного мышления: медленный – на основе собственного практического опыта методом проб и ошибок и более быстрый – в учебном заведении под руководством специалистов. Можно добавить, что при наличии мотивации у взрослого человека быстрый путь может реализовываться методами самообразования и самовоспитания, при этом могут быть использованы разработки по проблеме развития системного мышления М. И. О’Коннора, Н. В. Макаровой, З. А. Решетовой, В. А. Черникова и др. Перечислим возможные направления самосовершенствования, которые может применить любой человек для развития собственного системного мышления.

Наладить планирование и анализ собственной деятельности. Необходимо научиться ставить перед собой цели как конечные – достижимые, но требующие усилий и планомерной работы; так и бесконечные – задающие направление деятельности. При постановке цели человек должен просчитать существующие на пути ее достижения ограничения. Для достижения конечной цели выделяются временные этапы, на каждый из которых ставятся задачи, строятся модели в виде программ, графиков, расписаний, стандартов действий в определенных ситуациях. Для того чтобы правильно оценить достижение (недостижение) целей собственной деятельности, человеку необходимо научиться выделять критерии достижения целей.

Наблюдать за успешными системами. Для развития системного мышления нужно наблюдать за наиболее передовыми и успешными системами (персоналиями): как они работают, каковы

связи между частями, каковы последствия реализуемых действий и др. Это поможет использовать приемы их работы в собственной деятельности.

Расширять свою ментальность, развивать свои ментальные модели. Ментальные модели – это верования и убеждения, на основе которых мы осуществляем принятие решений, своеобразные «стекла», через которые мы знакомимся с миром. Часто мы видим только то, что хотим увидеть. Основными ментальными моделями у человека являются:

- вычеркивание части информации. Данный механизм работает на поддержание имеющейся ментальной модели, т. е. информацию, которая нам не подходит, мы просто не замечаем;
- конструирование – мысленное достраивание того, чего нет, если это помогает нам избежать имеющегося непонимания ситуации;
- искажение – уменьшение или преувеличение деталей системы;
- обобщение единичного опыта в желании представить его как типичный.

Зная свои основные ментальные модели, можно легко отслеживать свои ограничения, ведь любая карта не является реальной территорией, она всегда упрощена. Расширение своих ментальных моделей помогает принимать более разносторонние решения, учитывать большее количество факторов, особенности системы¹².

Разрушать стереотипы как устоявшееся отношение к реальности, выработанное на основе прошлого опыта. Стереотипы, безусловно, помогают при выработке решений в стандартной ситуации. Но они же и ограничивают, отмечая различные инновации. Их опасность кроется в эмоциональной окрашенности, частом базировании на ограниченном опыте и большой устойчивости.

Развивать способы измерения обратной связи. Одним из основных ограничений в обучении системному мышлению является сложность измерения обратной связи после принятия решения. Эта

¹² Секреты мастеров. Аналитическое и системное мышление : практ. рекомендации. Ч. 2 : Авторская программа консалтинговой фирмы Урал-Пермь [Электронный ресурс]. URL: <http://kf-up.ru/articles/sekretyi-masterov-analiticheskoe-i-sistemnoemyishlenie-prakticheskie-rekomendatsii-chast-2/> (дата обращения: 20.01.2016).

сложность связана со значительной отсроченностью результатов в большинстве случаев, а также размытостью причинно-следственных связей. Например, для увеличения прибыльности предприятия сервиса существует вариант сведения персонала к минимуму с увеличением нагрузки на оставшихся сотрудников. Однако в данном случае можно столкнуться с такими последствиями, как рост социальной напряженности в коллективе с негативными изменениями имиджа фирмы; усталость работников с последующими конфликтами, болезнями и увольнениями; снижение качества обслуживания и, в конце концов, потеря клиентов с падением доходов и закрытием предприятия. Поэтому менеджер предприятия сервиса должен уметь генерировать варианты управленческих решений и просчитывать их возможные последствия. При просчете возможных последствий важно тренироваться просчитывать свои действия в ситуации неопределенности, так как всегда существуют факторы, которые могут неожиданно повлиять на ситуацию.

Расширять круг интересов. Чем шире интересы, взгляды, кругозор человека, тем более у него знаний в различных сферах деятельности и представлений о их взаимосвязанности. Как следствие, мышление человека становится системным. Для расширения кругозора рекомендуется составлять планы проведения досуга, в том числе чтения, просмотра телепрограмм, посещения мероприятий, туристских и экскурсионных поездок.

Решать творческие задачи. Это один из лучших и самых действенных способов развить свои творческие способности и системное мышление.

Вопросы к разделу 1

1. Для предприятия индустрии спорта выделите основные и вспомогательные процессы:

- а) фитнес-клуба;
- б) горнолыжного центра;
- в) конно-спортивной школы;
- г) Дворца спорта.

2. Дайте определение понятиям: *моделирование, элемент, система, комплекс, структура, функции системы, анализ.*

3. Специалисты-практики предлагают следующие виды связей: существенные и несущественные, частно-, внутри- и межсистемные, соответствующие трем уровням умственной деятельности человека, взаимные и односторонние, противоречивые и непротиворечивые, полезные и вредные, важные, не очень важные и неважные, прямые и обратные, жесткие (в технике) и гибкие (в экономике, живых существах и обществе) и др. Выделите для предлагаемых видов связей основания классификации.

4. Расскажите об основных положениях концепции управления по целям П. Друкера. Можете ли вы привести пример ее реализации?

5. На сайте Государственных программ Российской Федерации выберите подпрограмму, к выполнению которой вы могли бы подключить в рамках подготовки своей магистерской диссертации.

6. Подготовьте эссе на тему «Если бы губернатором был я», в котором обоснуйте актуальность разработки областной целевой программы, ориентированной на решение проблем сферы сервиса на уровне вашего региона.

7. Приведите не менее трех примеров актуальных проблем в сфере сервиса. Проанализируйте одну из проблемных ситуаций в соответствии с алгоритмом, предложенным в п. 1.9 настоящего учебного пособия.

8. Приведите пример из области сервисной деятельности удачного обращения с проблемой:

- а) проблема решена частично, с достаточно хорошим результатом;
- б) проблема решена полностью, с получением хорошего результата;
- в) ситуация переделана так, что проблема больше не может возникнуть.

9. Опишите деятельность человека (биографию, сферу деятельности и ее главные результаты), который, на ваш взгляд, обладает системным мышлением. Покажите, по каким именно признакам вы определили наличие у этого человека системного мышления, как именно оно проявлялось в его деятельности. Покажите, как вел себя человек с системным мышлением в случае переломных событий в своей жизни и жизни своей страны, в случае открывающихся возможностей и успеха и, напротив, неудач, угроз и вызовов. Расскажите об известных вам способах самовоспитания и самосовершенствования этого человека.

10. Самодиагностируйте развитие системного мышления в соответствии с данными табл. 1.

Уровни развития системного мышления¹³

Уровни	Поведенческие проявления
3-й уровень мастерства	<p>В дополнение к уровню 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • эффективно достраивает целостную картину ситуации даже в условиях недостатка информации. Делает верные выводы на основании неполных и/или противоречивых данных; • при необходимости продуцирует новые концепции, позволяющие найти решение особо трудных практических задач
2-й уровень опыта	<p>В дополнение к уровню 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализируя информацию, отделяет главное от второстепенного; • видит причинно-следственные связи, выявляет основные закономерности при анализе любых вопросов, в том числе выходящих за рамки его непосредственных интересов и компетентности; • видит барьеры на пути достижения поставленных целей и способы их преодоления; • мыслит вариативно: предлагает несколько различных решений проблемы, не ограничивается стандартными вариантами; • эффективно анализирует большие объемы информации, комплексные и многофакторные явления
1-й начальный уровень	<ul style="list-style-type: none"> • видит разные факторы, влияющие на ситуацию; • структурирует информацию на основе значимых, не противоречащих друг другу критериев; • делает логичные, непротиворечивые выводы; • в знакомой области видит причинно-следственные связи и основные закономерности, формирует системное понимание ситуации; • умеет соотносить имеющуюся информацию и бизнес-цели организации

¹³ См.: Ардашкин И. Б. Психодиагностика : учеб. пособие. Томск : Изд-во ТПУ, 2001. С. 41–42 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psyoffice.ru/page,3,3633-ardashkin-i.b.-dubinina-i.a.-psikhodiagnostika.html> (дата обращения: 20.01.2016).

Уровни	Поведенческие проявления
0-й уровень некомпетентности	<ul style="list-style-type: none"> • не склонен к анализу, действует по наитию. Не выделяет главного, оставляет без внимания значимые аспекты ситуации; • принимает необдуманные решения. Не оценивает риски и последствия

11. По согласованию с научным руководителем проведите анализ деятельности предприятия сервиса (мероприятия в сфере социально-культурного сервиса, физической культуры и спорта) по следующим показателям:

1) описание идентификационных признаков¹⁴ предприятия, в том числе формы собственности;

2) описание расположения предприятия: имеется ли отдельно стоящее здание; место на карте города; как добраться маршрутами общественного транспорта; общая характеристика района расположения предприятия;

3) описание миссии предприятия, стратегии развития, программы развития;

4) описание ограничений для предприятия: требования вышестоящих организаций, нормативной базы; возможные опасности – угрозы;

5) описание подведомственных предприятий (при наличии);

6) потребляемые ресурсы: материальные, энергетические, информационные, финансовые затраты, трудовые; поставщики ресурсов;

7) конечная продукция: товары, услуги, доходы, повышение квалификации персонала;

8) отходы предприятия: типы отходов, их утилизация и ликвидация, договоры с организациями, перерабатывающими или вывозящими отходы;

9) лица, заинтересованные в успешной работе предприятия;

10) лица, не заинтересованные в успешной работе предприятия;

11) сведите полученную информацию в матрицу SWOT-анализа (табл. 2).

¹⁴ Идентификационный признак – это признак, присущий данному объекту, выражающий его свойства, характеризующий объект определенным образом и используемый в целях идентификации. В случае предприятия к ним относят регистрационные данные, в том числе юридическое название, юридический и фактический адреса; сведения о форме собственности; контакты – телефон, факс, наличие сайта и его возможности.

12) сделайте выводы об актуальных проблемах для данного предприятия и предложите возможные пути их решений.

Т а б л и ц а 2

SWOT-анализ предприятия

	Сильные стороны	Слабые стороны
Внутренняя среда	Наличие продуманной стратегии, программы развития. Наличие ресурсов. Репутация предприятия у потребителей	Отсутствие (слабая проработка) стратегии и программы развития. Отсутствие (нехватка) ресурсов. Отсутствие известности на рынке
	Возможности	Угрозы
Внешняя среда	Перечислите факторы, за счет которых может улучшиться положение предприятия	Перечислите возможные опасности

2. МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ СЕРВИСА. ОПТИМИЗАЦИЯ

2.1. Модель и моделирование

Модель (от лат. *modulus* – мера, аналог, образец) – это система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе, упрощенное представление реального устройства и/или протекающих в нем процессов, явлений. Классический пример модели – проект, а сам термин «проектирование» (от лат. *projectus* – брошенный вперед) означает процесс создания проекта как модели новой системы.

Модель представляет собой формализованное представление реального объекта, процесса или явления, выраженное различными средствами: математическим соотношением, числами, текстами, графиками, рисунками, словесным описанием, материальным объектом. Создавая модель, исследователь стремится отобрать наиболее существенные признаки объекта, пренебрегая теми, которые, по его мнению, не оказывают заметного влияния на результат. Анализ модели и наблюдение за ней позволяют познать суть реально существующего более сложного объекта – прототипа. Вместе с тем модель не может учесть *все* свойства и поведение прототипа, поэтому полученный на основе модели результат приближенно соответствует реальности. Степень приближения зависит от степени адекватности модели.

Области применения моделей: для нужд познания (созерцания, анализа и синтеза). Модель незаменима в тех случаях, когда, во-первых, важно спрогнозировать возможные процессы, например, изменения потребительского спроса; во-вторых, невозможно в принципе провести реальный эксперимент, например, последствия глобального изменения климата; в-третьих, проведение реального эксперимента сопряжено с большими издержками.

Требования к моделям:

– *простота* – это требование обусловлено необходимостью построения модели, рассчитанной доступными методами. Построение сложной модели может привести к невозможности получения конечного результата имеющимися средствами в приемлемые сроки и с требуемой точностью. Степень сложности модели определяется уровнем ее детализации, зависящим от принятых предположений и допущений: чем их больше, тем ниже уровень детализации и, следовательно, проще модель и, в то же время, менее адекватным исследуемой системе;

– *адекватность* как соответствие модели исходной реальной системе и учет прежде всего наиболее важных качеств, связей и характеристик. Адекватность математических моделей зависит от степени полноты и достоверности сведений об исследуемой системе; уровня детализации модели. При этом моделирование может проводиться либо в условиях полной определенности, означающей наличие точной информации обо всех исходных параметрах; либо в условиях неопределенности, обусловленных неточностью сведений о параметрах или отсутствием сведений о значениях некоторых параметров. Главным признаком неадекватности модели являются противоречивые выводы, полученные при ее исследовании;

– *точность* как степень совпадения полученных в процессе моделирования результатов с ранее установленными, желаемыми;

– *универсальность* – это применимость модели к анализу ряда однотипных систем в одном или нескольких режимах функционирования;

– *целесообразная экономичность*, т. е. точность получаемых результатов и общность решения задачи должны увязываться с затратами на моделирование. Исследователи М. Мескон, М. Альберт и Ф. Хедоури отмечают, что выгоды от использования модели должны с избытком оправдывать ее стоимость. При установлении издержек на моделирование руководству следует учитывать затраты времени руководителей высшего и низшего уровней на построение модели и сбор информации, расходы и время на обучение, стоимость обработки и хранения информации.

В зависимости от поставленной задачи, способа создания модели и предметной области различают множество типов моделей: по области использования выделяют учебные, опытные, игровые, имитационные, научно-исследовательские модели; по временному фактору выделяют статические и динамические модели; по форме представления модели бывают математические, геометрические, словесные, логические, специальные (ноты, химические формулы и т. п.); по способу представления их делят на информационные (нематериальные, абстрактные) и материальные. Информационные модели, в свою очередь, делят на знаковые и вербальные, знаковые – на компьютерные и некомпьютерные. В рамках моделирования и оптимизации процессов и систем сервиса наибольший интерес представляют информационные модели.

Информационная модель – это совокупность информации, характеризующая свойства и состояние объекта, процесса или явления. Информационные модели бывают:

1. Математические (знаковые – компьютерные и некомпьютерные) написаны математическим языком, в случае компьютерной модели – средствами программной среды;

2. Текстовые (вербальные) сформулированы обычным языком.

Достоинства математических моделей: четкость, возможность строгой дедукции, проверяемость и др.

Достоинства вербальных моделей: вербальная модель лучше, чем отсутствие модели или неадекватная математическая модель. Нельзя забывать и о том, что история науки свидетельствует, что текстовое описание проблем часто предшествует их математической формулировке, т. е. отысканию алгоритма. Очевидно, что на начальном этапе исследователю такой практико-ориентированной сферы деятельности, как сервис, предпочтительнее стремиться к разработке текстовой модели, охватывающей соответствующий алгоритм процессов или деятельности систем.

Моделирование является общенаучным методом познания, нашедшим широкое применение в различных областях знания, в том числе в сфере сервиса. *Моделирование* можно определить как процесс построения и исследования моделей, т. е. отражение субъективного

видения реально существующих процессов при помощи математических, графических, табличных, текстовых способов представления.

Процесс моделирования включает три элемента: *субъект* (исследователь), *объект исследования*, *модель*, определяющую (отражающую) отношения познающего субъекта и познаваемого объекта.

Цель моделирования: облегчить изучение имеющихся в реальном процессе свойств и закономерностей. В сфере обслуживания моделирование проводится с целью оптимизации бизнес-процессов и систем сервиса. При этом само моделирование превращается в отражение субъективного видения разработчиком реально существующих процессов при помощи графических, табличных, текстовых способов представления действительности.

Задачи моделирования: разработка модели; анализ характеристик системы; синтез системы; детальный анализ синтезированной системы.

Разработка модели состоит в выборе конкретного аппарата, в терминах которого формулируется модель, и построении модели исследуемой системы, отображающей возможные варианты структурно-функциональной организации системы. В процессе разработки модели необходимо определить состав и перечень параметров, и характеристик модели в терминах выбранного аппарата и установить их взаимосвязь с параметрами и характеристиками исследуемой системы, т. е. выполнить *параметризацию* модели.

Анализ характеристик системы с использованием разработанной модели заключается в выявлении свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в системах с различной организацией, и выработке рекомендаций для решения основной задачи системного проектирования – задачи синтеза.

Синтез (от греч. *synthesis* – соединение, сочетание, составление) – процесс порождения функций и структур, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к эффективности системы. Синтез системы заключается в определении параметров системы, удовлетворяющих заданным требованиям к характеристикам системы.

Решение задачи синтеза связано с определением зависимостей характеристик функционирования системы от параметров состояния системы.

Для того чтобы снизить сложность задачи синтеза, процесс проектирования разделяют на последовательность этапов, на каждом из которых решаются частные задачи синтеза – определяют параметры, связанные с отдельными аспектами организации системы, с использованием тех или иных моделей. В зависимости от целей можно выделить следующие этапы синтеза:

- *структурный синтез*, состоящий в выборе способа структурной организации системы, в рамках которой могут быть удовлетворены требования технического задания на разработку модели. В свою очередь, структурный синтез включает в себя две ступени: *элементный синтез*, состоящий в определении требований к параметрам отдельных элементов системы, и *топологический (конфигурационный) синтез*, состоящий в определении способа взаимосвязи элементов системы, т. е. топологии (конфигурации) системы;

- *функциональный синтез*, состоящий в выборе режима (способа) функционирования системы;

- *нагрузочный синтез*, состоящий в определении требований к параметрам нагрузки, обеспечивающим функционирование системы с заданным качеством.

На каждом из перечисленных этапов синтеза определяются значения соответствующего подмножества параметров, характеризующих структурную, функциональную организацию системы или нагрузку, возлагаемую на систему. При этом значения параметров оптимизируются лишь в отношении факторов, учитываемых на каждом из этапов синтеза, но не в отношении системы в целом. Поэтому многоэтапный синтез позволяет получить лишь приближенные оптимальные решения, качество которых проверяется путем детального анализа синтезированной системы.

Детальный анализ синтезированной системы проводится с целью оценки качества решения задачи системного проектирования и полученных в процессе синтеза параметров системы,

а также выявления предельных возможностей системы, узких мест в системе и т. д.

Поскольку задача синтеза обычно решается на моделях, использующих упрощающие решения, предположения и допущения, анализ синтезированной системы, выполняемый с целью определения фактической эффективности конкретных значений характеристик, обычно проводится на основе более детальных моделей, в качестве которых чаще всего используются имитационные модели.

Как отмечает Е. П. Голубков, построение моделей до сих пор остается искусством, однако можно выделить *этапы моделирования*:

1. Выделение проблемы через представление о трудностях исследования реальной системы или процесса.

2. Выбор объекта, заменяющего реальный, – построение модели. Очевидно, модель утрачивает свой смысл как в случае тождества с оригиналом, так и в случае чрезмерного во всех существенных отношениях отличия от оригинала. Таким образом, изучение одних сторон моделируемого объекта осуществляется ценой отказа от исследования других сторон. Поэтому любая модель замещает оригинал лишь в строго ограниченном смысле. Из этого следует, что для одного объекта может быть построено несколько «специализированных» моделей, концентрирующих внимание на определенных сторонах исследуемого объекта или же характеризующих объект с разной степенью детализации.

3. Исследование модели. Одной из форм такого исследования является проведение «модельных» экспериментов, в ходе которых сознательно изменяются условия функционирования модели и изучаются ее реакции на эти изменения. В результате формируется совокупность знаний о модели.

4. Перенос знаний, полученных в ходе изучения модели, на реальный объект по определенным правилам. Знания о модели должны быть скорректированы с учетом тех свойств объекта-оригинала, которые не нашли отражения или были изменены при построении модели.

5. Практическая проверка получаемых с помощью моделей знаний и их использование для построения обобщающей теории объекта, его преобразования или управления им.

Из рассмотрения этапов построения модели следуют выводы о том, что модель в познании носит временный характер и моделирование – циклический процесс. Это означает, что за первым четырехэтапным циклом может последовать второй, третий и т. д. При этом знания об исследуемом объекте расширяются и уточняются, а исходная модель постепенно совершенствуется. Недостатки, обнаруженные после первого цикла моделирования, обусловленные малым знанием объекта или ошибками в построении модели, можно исправить в последующих циклах. Метод моделирования ограничен, так как модель, во-первых, не отражает все черты исследуемого объекта (только существенные); во-вторых, результаты исследования модели должны быть проверены на практике.

2.2. Особенности моделирования сервисной деятельности

В России теоретические разработки в области сферы сервиса получили свое развитие в работах Г. А. Аванесовой, И. С. Барчукова, Л. В. Баумгартена, Е. В. Башмачниковой, Г. А. Бондаренко, В. Ф. Буйленко, А. М. Ветитнева, М. В. Виноградовой, Ю. Ф. Волкова, Л. И. Ерохиной, В. К. Карнауховой, Т. А. Краковской, А. Б. Крутика, А. С. Кускова, О. Т. Лойко, М. А. Морозова, Н. С. Морозовой, З. И. Паниной, Г. А. Резник, М. В. Решетовой, Ж. А. Романовичем, А. Э. Саака, С. С. Скобкина, Т. Н. Третьяковой, Т. В. Черевичко и др.

Исследователи выделяют, что развитие процессов и систем сервиса приводит к взаимопроникновению сфер материального и нематериального производства, следствием чего является деление услуг на два больших класса: материальные и социально-культурные.

Материальная услуга представляет собой услугу по удовлетворению материально-бытовых потребностей потребителя услуг. Она обеспечивает восстановление, изменение или сохранение потребительских свойств изделий либо изготовление новых изделий по заказам, а также перемещение грузов и людей, создание условий для потребления.

Пример. В индустрии спорта к материальным услугам могут быть отнесены ремонт спортивного инвентаря, спортивной одежды и обуви, индивидуальное производство спортивного инвентаря для спортсменов высокого класса и др. В данном случае результатом производства и объектом потребления является материальная вещь (товар). Однако этот товар индивидуализирован и является воплощением труда его производителя в такой форме, которая максимально учитывает индивидуальные запросы потребителя.

Социально-культурная услуга удовлетворяет духовные, интеллектуальные потребности и поддерживает нормальную жизнедеятельность потребителя.

Пример. В индустрии спорта к социально-культурным услугам могут быть отнесены услуги, способствующие поддержанию и восстановлению здоровья, духовному и физическому развитию личности, повышению профессионального мастерства, удовлетворению потребностей в просмотре спортивных и других зрелищных мероприятий. Поэтому большинство услуг, производимых и потребляемых в индустрии спорта, относятся к социально-культурным услугам.

Необходимо отметить, что социально-культурным услугам, в отличие от материальных, присущ ряд специфических характеристик.

Во-первых, неосвязаемость. Социально-культурные услуги невозможно осязать непосредственно до момента их приобретения. Покупатель вынужден верить продавцу на слово в том, что получит желаемый эффект в результате потребления предложенных услуг (например, улучшит состояние здоровья в результате занятий в физкультурно-оздоровительном клубе). Визуализация информации о предлагаемой услуге в форме некой модели (к примеру, набор фотоматериалов или 3D-экскурсия по аэропорту, самолету, отелю, ресторану и пляжу для клиента, намеревающегося приобрести туристскую путевку с целью пляжного отдыха) может существенно облегчить ее продажу.

Во-вторых, неотделимость социально-культурной услуги от ее источника.

В-третьих, непостоянство качества. Качество социально-культурных услуг колеблется в широких пределах в зависимости от конкретных исполнителей услуги, места, времени и других факторов, связанных с их предоставлением и восприятием потребителями. Для снижения изменчивости качества на предприятиях сервиса широко применяются такие модели, как стандарты обслуживания, технологические карты, инструкции и др.

В-четвертых, несохраняемость. Социально-культурную услугу невозможно сохранить во времени.

Перечисленные особенности социально-культурных услуг показывают своеобразие этого продукта. Они требуют подходов к моделированию процесса обслуживания и оптимизации процессов и систем сервиса, отличных от подходов к оптимизации в секторах материального производства.

Говоря об особенностях производства и потребления социально-культурных услуг в индустрии спорта, необходимо иметь в виду, что эти процессы тесно связаны с потреблением материальных услуг (прокат, ремонт спортивного инвентаря и оборудования и др.) и товаров (спортивная одежда и обувь, спортивный инвентарь). Названные материальные товары и услуги сами по себе, как правило, не являются непосредственным продуктом индустрии спорта как отрасли, однако трудно себе представить потребление отраслевых социально-культурных услуг в отрыве от них.

Другими словами, социально-культурные услуги, материальные услуги и товары потребляются в едином комплексе, в связи с чем рост спроса на социально-культурные услуги неизбежно влечет за собой соответствующий рост спроса на материальные услуги и товары.

Возвращаясь к теме моделирования процессов и систем сервиса, следует отметить, что в настоящее время разработано значительное количество моделей оптимального управления отраслями промышленного производства. Однако их автоматический перенос на сферу сервиса невозможен ввиду ее особенностей:

1. К сфере сервиса относятся предприятия, непосредственно связанные с удовлетворением потребностей населения. Потребности человека разнообразны и образуют сложно структурированную

систему. Следовательно, сфера сервиса в плане моделирования процессов и систем малотехнологична.

2. Большое количество мелких и средних предприятий в сравнении с промышленностью, при этом сеть обслуживания не поддается концентрации подобно промышленному производству.

3. Большое количество предприятий приводит к небольшой мощности каждого из них.

4. Предприятия различаются номенклатурой оказываемых услуг и способами организации обслуживания.

5. Сфера сервиса сильно зависит от конъюнктуры спроса населения на услуги и потому нестабильна, организационные решения не являются долговечными, потребление услуг колеблется с сезонными изменениями, уровнем предложения, модой и прочими факторами.

6. Сфера сервиса недостаточно насыщена специалистами по сервису, владеющими методами построения математических моделей, что сдерживает внедрение инноваций.

Таким образом, разнообразие сферы сервиса предопределяет неопределенность характеристик предприятий и затрудняет их сопоставление между собой.

2.3. Текстовые модели в сервисе

Текстовая модель в сервисе (вербальная модель, краткое описание) – это набор требований, выявленных в результате исследования рынка услуг, согласованных с заказчиком и учитывающих возможности исполнителя услуг. К этим моделям можно, например, отнести: тексты, описывающие алгоритмы деятельности, технологические карты, стандарты обслуживания и др.; текстовое описание объектов и процессов – должностные и технологические инструкции, программы обслуживания, расписание движения транспорта, графики выхода на работу и др.

Пример. Должностная инструкция – внутренний организационно-распорядительный документ, регламентирующий полномочия, ответственность и должностные обязанности работника на занимаемой должности в определенной организации. Правильно

составленная должностная инструкция является моделью деятельности персонала.

Пример. *Стандарт организации*¹⁵ – это документ по стандартизации, утвержденный юридическим лицом, в том числе государственной корпорацией, саморегулируемой организацией, а также индивидуальным предпринимателем для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ, оказания услуг. На предприятиях сервиса распространены *стандарты обслуживания* – формализованные и конкретизированные требования к действиям персонала, относящимся к непосредственному взаимодействию с клиентами. Пример стандарта обслуживания приведен в прил. 1. В результате внедрения стандартов обслуживания повышается качество обслуживания, а следовательно, лояльность клиентов; сводится к минимуму риск совершения персоналом лишних или ошибочных действий; иными словами – оптимизируются рабочие процессы и процедуры и, как следствие, снижаются издержки фирмы и экономятся ресурсы на фоне повышения качества обслуживания; происходит быстрое и качественное введение в должность новых сотрудников за счет передачи концентрированных, необходимых для успешной деятельности профессиональных знаний; сохраняется накопленный опыт лучших сотрудников предприятия; повышается возможность оперативного и однозначного (не вызывающего споров и разногласий) контроля над деятельностью сотрудников, управления качеством их работы; происходит усиление мотивации персонала работать с максимальной отдачей за счет прозрачности и единства требований к сотрудникам и ожидаемых от них результатов.

Таким образом, применение стандартов обслуживания приводит к значительному улучшению качества предоставляемых клиентам услуг, укрепит позиции фирмы на рынке услуг через создание ее безупречного имиджа, что привлечет новых клиентов, обеспечивающих рост продаж и увеличение прибыли.

¹⁵ О стандартизации в Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 29.06.2015. № 162-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://rg.ru/2015/07/03/standart-dok.html> (дата обращения: 20.01.2016).

Пример. Модель написания научной публикации¹⁶ как текст, описывающий алгоритм деятельности.

Написание научной публикации есть творческий процесс и, как всякое творчество от идеи до ее воплощения в жизнь, всегда *индивидуально*. Однако при этом можно определить и некоторые методологические подходы к его осуществлению. Так, процесс работы над публикацией можно разбить на десять этапов (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Модель написания научной публикации

Этап	Содержание этапа
I	Анализ собственной деятельности
II	Регулярное самообразование, сбор данных по теме исследования
III	Согласование своего материала с научным руководителем и тематикой печатного издания или конференции, семинара
IV	Продумывание названия статьи или тезисов
V	Соблюдение нормативных (оформительских) требований издателей журнала или организаторов конференций
VI	Формулирование актуальности темы и цели публикации
VII	Изложение содержания основного материала
VIII	Формулирование выводов и рекомендаций
IX	Работа над библиографическим списком
X	Передача материала организаторам конференции

На каждом этапе решаются свои задачи. Например, для реализации первых двух этапов нужна регулярная работа автора по саморазвитию, самоусовершенствованию, психологическому настраиванию себя на творчество как способ осмысления жизни.

¹⁶ Данный пример алгоритма написания первой научной публикации актуален для магистрантов.

Последующие этапы отличаются большей конкретикой. Этапы неравнозначны по объему, однако при невнимании к самым, казалось бы, незначительным из них (например, к III–V и IX–X этапам) у начинающих авторов могут быть неудачи, и тяжелый труд написания первой научной публикации не принесет желаемого творческого удовлетворения.

Пример. Программа – это нормативная модель совместной работы группы людей по достижению определенной цели, рабочий документ для организации текущей и перспективной деятельности учреждения.

В сервисной деятельности одним из важных видов продуктов являются модели в виде программ обслуживания.

В соответствии с ГОСТ Р 50681-2010 «Туристско-экскурсионное обслуживание. Проектирование туристской услуги» основным туристским продуктом является *программа обслуживания клиентов* как перечень услуг, достопримечательных и досуговых событий, предоставляемых туристам в определенной последовательности, времени, месте и условиях обслуживания, продаваемый туристам в одном турпакете. Пакет услуг формируется в зависимости от цели путешествия и потребностей туристов по выбранному ими направлению. В литературе выделяют следующие принципы составления программ обслуживания:

– *принцип первый* – выявление потребностей туристов к уровню обслуживания, содержанию тура и технологии предоставления услуг. Уровень обслуживания зависит от уровня составляющих туристских услуг: проживания, питания, экскурсионного, транспортного обслуживания, досуга, а также от четкого их соответствия цели путешествия. Например, не стоит предлагать утомительный пеший переход по загазованным улицам маломобильным туристам, приехавшим в мегаполис с культурно-познавательной целью;

– *принцип второй* – учет специфики объектов посещения, оптимизация маршрута путешествия. Необходимо планировать программы с наименьшими переездами; подбирать квалифицированного гида, владеющего полной информацией по программе

тура и при необходимости способного заменить один вид обслуживания другим;

– *принцип третий – комплексный подход к формированию программы обслуживания и составлению ежедневных экскурсионно-досуговых программ.* Комплексный подход лежит в основе технологии проектирования, организации и проведения тура, важной составляющей которой является соблюдение требований безопасности и экологичности.

В результате появляется *оптимальная программа обслуживания*, учитывающая потребности туристов и тематику обслуживания (вид туризма) с точки зрения содержания, состава услуг, их количества и порядка предоставления.

Исходя из принципов составления программ, выделяются две стадии процесса.

1. При заключении договора между туроператором и турагентом (либо при реализации индивидуального тура) программа обслуживания составляется, согласовывается и утверждается сторонами в виде набора услуг (списком), без распределения по конкретным дням обслуживания¹⁷.

2. Непосредственно перед заездом (по договоренности) фирмы дополнительно факсом согласовывают конкретную программу обслуживания по дням с указанием наименования гостиницы, в которой туристы будут размещаться. Индивидуальный турист получает такую программу в агентстве одновременно с получением путевки.

Пример. Модель экскурсии как комплект документации.

Согласно ГОСТ Р 50681-2010 «Туристские услуги. Проектирование туристских услуг» проектирование путешествия предусматривает согласование возможностей предприятия, осуществляющего это проектирование, с запросами туристов. В проект/модель путешествия необходимо включать конкретные требования по обеспечению безопасности услуги, минимизации рисков для потре-

¹⁷ Туроператору в дальнейшем предстоит уточнить конкретное время работы объектов посещения, ассортимент турпродуктов в виде экскурсий, даты событийных мероприятий, интересующих туристов, и т. д.

бителей услуги и их имущества, обслуживающего персонала и для окружающей среды. Документация, отражающая требования к любому виду обслуживания туристов, должна содержать: описание процессов, форм и методов обслуживания туристов; характеристики процессов обслуживания туристов; требования к типу, количеству и пропускной способности используемого оборудования; необходимое количество персонала и уровень его профессиональной подготовки; договорное обеспечение обслуживания; гарантии обслуживания туристов; согласования с собственниками рекреационных ресурсов, органами санитарно-эпидемиологического контроля, пожарного надзора и др. Проектирование процесса обслуживания туристов осуществляется по отдельным этапам предоставления услуги и с обязательным составлением для каждого из них технологических карт. Краткое описание услуги «экскурсия» составляется на основе изучения потребностей и платежеспособности населения, спроса на виды туристских путешествий, а также на основе изучения возможностей рекреационных ресурсов в конкретном районе. Оно конкретизируется в проекте программы обслуживания туристов. Результатом проектирования/разработки модели экскурсии является правильное содержание: технологической карты туристского путешествия; графика загрузки предприятия – поставщика услуг; информационного листка к туристской путевке; программы обслуживания туристов.

Таким образом, модели, выраженные в обычном языке, широко распространены в практике сферы сервиса, где они востребованы и являются некой направляющей идеей.

2.4. Модели-схемы процессов и систем сервиса

В зависимости от целей моделирование может проводиться на двух уровнях: качественном и количественном. Соответственно применяются модели: изобразительные (наглядные) и конструктивные. Модели-схемы соответствуют качественному уровню моделирования и представляют собой наглядное изображение некоего процесса.

К основным принципам построения блок-схем отдельных систем относятся: *системность* (основополагающий); *иерархичность* (последовательность основных компонентов схемы: основание (методология – опора, влияющая на ядро) – ядро (теория – установка способов воздействия на практику) – приложение (практика, реализация)); *показ существующих в системе причинно-следственных связей*, в том числе образующих замкнутый контур. Как правило, в экономико-математическом моделировании систем массового обслуживания и других объектов элементы моделирования обозначают прямоугольником, у которого имеется вход и выход, обозначаемые стрелками. Сущность простейшей модели-схемы «черный ящик» представлена на рис. 4.

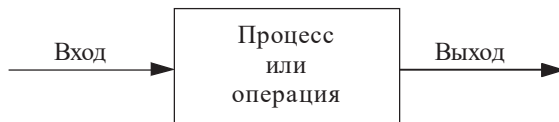


Рис. 4. Модель «черный ящик»

Как видно, основными частями модели «черный ящик» являются: вход; процесс или операция; выход. Рассмотрим более сложную модель взаимодействия предприятия и окружающей среды (рис. 5).

К числу понятий, на которых основаны важные принципы управления, относится понятие обратной связи. Именно оно способствует установлению принципиальных аналогий между организацией управления в таких качественно различных системах, как машины, живые организмы и коллективы людей. *Обратная связь* – это соединение между выходом и входом системы, осуществляемое непосредственно (например, взаимодействие предприятия и вышестоящей организации, см. рис. 5) либо через другие элементы системы (рис. 6).

Как видим, с помощью обратной связи сигнал с выхода системы (объекта управления) передается в орган управления. Далее этот сигнал о работе, выполненной объектом управления, сравнивается с сигналом, задающим содержание и объем работы, например,

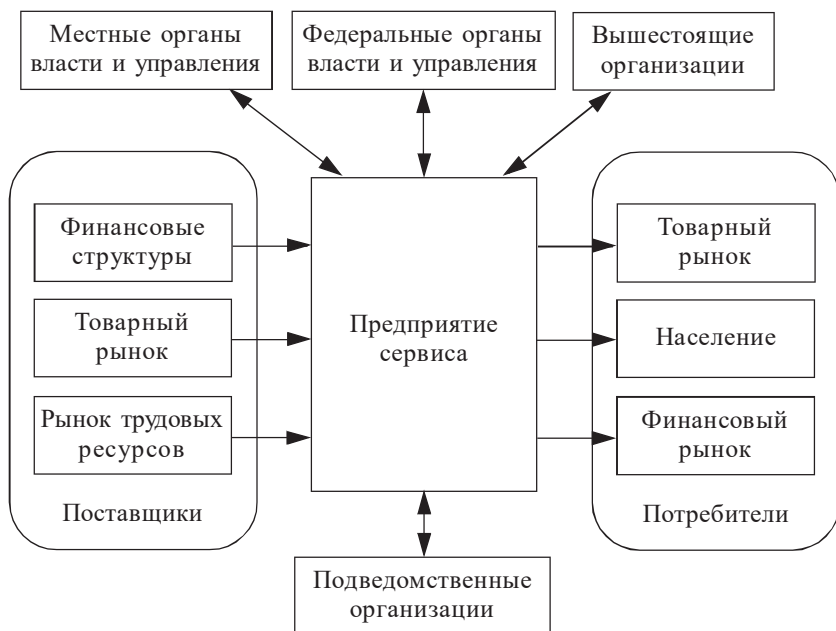


Рис. 5. Модель взаимодействия предприятия и окружающей среды

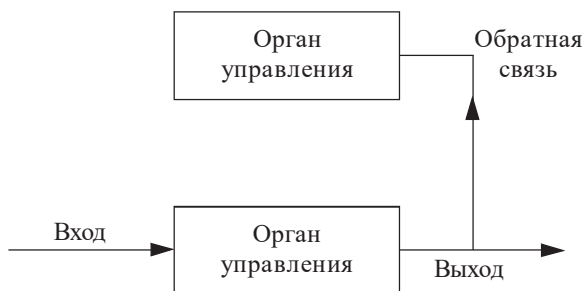


Рис. 6. Обратная связь через орган управления

планом. В случае возникновения рассогласования между фактическими и плановыми показателями работы орган управления принимает меры по его устранению. Классической моделью обратных связей на примере является цикл управления качеством (цикл PDCA).

Основными функциями обратной связи являются:

1. Противодействие тому, что делает сама система, когда она выходит за установленные пределы (например, реагирование на снижение качества).

2. Компенсация возмущений и поддержание состояния устойчивого равновесия системы (например, неполадки в работе оборудования).

3. Синтезирование внешних и внутренних возмущений, стремящихся вывести систему из состояния устойчивого равновесия, сведение этих возмущений к отклонениям одной или нескольких управляемых величин (например, выработка управляющих команд на одновременное появление нового конкурента и снижение качества выпускаемой продукции).

4. Выработка управляющих воздействий на объект управления по плохо формализуемому закону.

Пример. Рассмотрим модель «Технологический цикл обслуживания гостей в гостинице» (рис. 7).

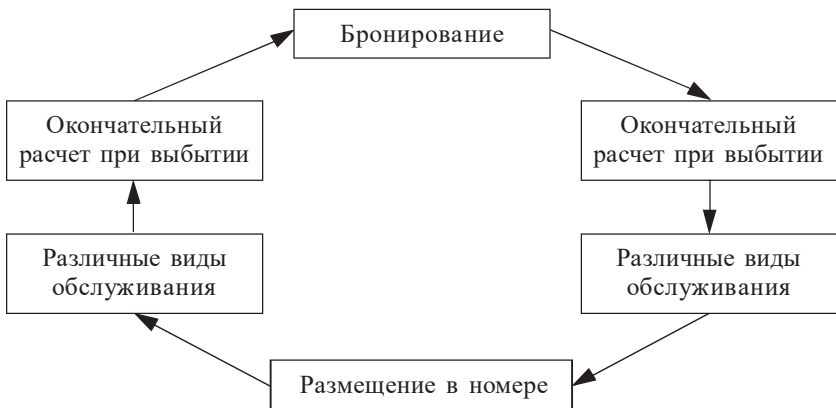


Рис. 7. Технологический цикл обслуживания клиентов в гостинице

В соответствии с этой моделью в гостинице предусмотрен минимальный набор служб, обеспечивающих предоставление основ-

ных гостиничных услуг: бронирования, обслуживания, приема и размещения¹⁸.

Нарушение обратных связей в социально-экономических системах по различным причинам ведет к тяжелым последствиям. Отдельные локальные системы утрачивают способность к эволюции и тонкому восприятию намечающихся новых тенденций, перспективному развитию и научно обоснованному прогнозированию своей деятельности на длительный период времени, эффективному приспособлению к постоянно меняющимся условиям внешней среды. Например, рассмотрим модель кругооборота потоков в экономике (рис. 8).

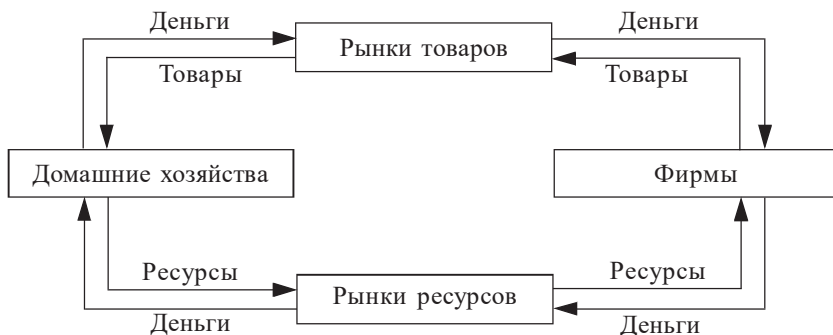


Рис. 8. Модель кругооборота потоков в экономике

Особенностью социально-экономических систем является то обстоятельство, что не всегда удастся четко выразить обратные связи, которые в них, как правило, длинные, проходят через целый ряд промежуточных звеньев, и четкий их просмотр затруднен. Сами управляемые величины нередко не поддаются ясному определению, и трудно установить множество ограничений, накладываемых на параметры управляемых величин. Не всегда известны также действительные причины выхода управляемых переменных за установленные пределы.

¹⁸ В гостиницах различных типов и вместимости число служб и их функции могут быть другими.

В ряде случаев для составления блок-схем взаимодействия подсистем удобно пользоваться кругами Эйлера¹⁹.

Круги Эйлера – это геометрические схемы, с помощью которых можно наглядно представить отношения между подсистемами (прил. 2). При этом вместо кругов могут быть любые многомерные фигуры, иерархически расположенные в пространстве, т. е. одни фигуры поглощают либо часть других фигур, либо полностью.

Пример. Рассмотрим модель целей организации («Дерево целей»). Дерево целей – это иерархическое визуальное представление достижения целей; принцип, при котором главная цель достигается за счет совокупности второстепенных и дополнительных целей. Модель целей организации содержит в себе как описание собственно целей и их характеристик, так и взаимосвязей между ними. В рамках этой модели между ее элементами устанавливаются иерархические отношения «цель – средство», предполагающие, что достижение каждой нижестоящей цели становится одним из средств для достижения вышестоящей (рис. 9). К каждой из определяемых на нижнем уровне детализации целей, насколько это возможно, применяются требования SMART-критериев.

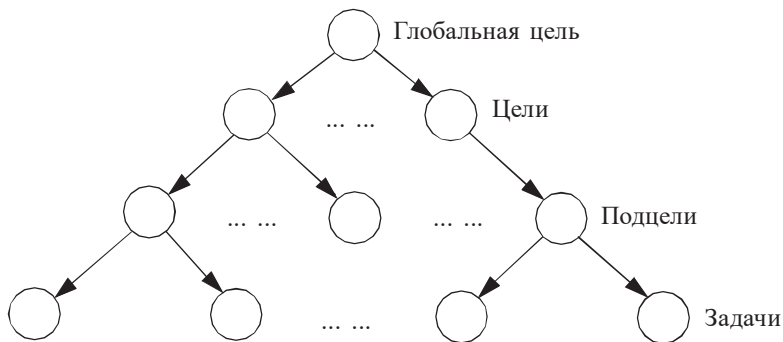


Рис. 9. Схема «Дерево целей»

¹⁹ Особенного расцвета графические методы достигли в сочинениях английского логика Джона Венна, подробно изложившего их в книге «Символическая логика», изданной в Лондоне в 1881 г. Поэтому такие схемы иногда называют диаграммами Эйлера – Венна.

По результатам рассмотрения моделей-схем можно сделать вывод: они хорошо приспособлены для отображения статического или динамического явления в определенный момент времени, но они не годятся для изучения изменяющегося процесса.

В случаях изменяющихся процессов и систем предпочтительнее математические модели-аналоги. В них набор одних свойств используется для отображения набора совершенно иных свойств.

Примером простой аналогии являются графики, гистограммы, схемы информационных и материальных потоков предприятия и др. На графиках пользуются расстоянием для отображения различных свойств (время, прибыль и др.). Графики дают возможность предсказать, как изменения одного свойства сказываются на другом.

Пример. Известно, что на коэффициент загруженности предприятий сервиса большое влияние оказывают факторы сезонности, дни недели, часы («затишья» – «активного посещения»). Обрабатывая большой массив статистических данных о работе предприятия, можно получить соответствующие графики зависимости, с помощью которых рассчитать численность персонала, необходимую для обслуживания гостей, и составить модели в виде графиков выхода на работу.

Эти мероприятия позволят, с одной стороны, оптимизировать расходы на заработную плату персонала, с другой стороны, создать более комфортные условия труда, так как снизят рабочее время сотрудников за счет уменьшения времени «простоев».

Для предприятий, испытывающих нехватку кадров, разработка подобной модели поможет рассчитать целесообразное время привлечения совместителей.

Вопросы к разделу 2

1. Дайте определение понятию «модель», приведите не менее трех примеров моделей процессов и систем сервиса.
2. В каких случаях моделирование оправдано и необходимо?
3. Перечислите основные этапы моделирования систем.
4. Составьте по форме прил. 1 стандарты обслуживания, касающиеся операций: а) приветствия клиента; б) расставания с клиентом.

5. Составьте программу обслуживания туристов с использованием следующей легенды: туристы – участники научной конференции (25 человек), прибывшие в Екатеринбург из разных городов России. Свободное время: пн. 18-00–20-00; вт. 16-00–20-00; ср. 16-00–22-00; чт. 10-00–14-00. Пожелания: пешеходная экскурсия по центру города, посещение исторического музея, обзорная экскурсия по городу, посещение ТРЦ с возможностью покупки сувениров, аквапарка.

6. Изобразите модель-схему взаимодействия среды и предприятия индустрии спорта: а) стадиона; б) Дворца спорта; в) фитнес-центра; г) физкультурно-оздоровительного комплекса.

7. В соответствии со SMART-критериями сформулируйте некую важную для вас лично цель и постройте «Дерево целей».

8. С помощью кругов Эйлера решите задачу: из 100 детей, отдыхающих в детском оздоровительном лагере, кататься на сноуборде умеют 30 ребят, на скейтборде – 28, на роликах – 42. При этом и на скейтборде, и на сноуборде одновременно умеют кататься 8 детей, на скейтборде и на роликах – 10, на сноуборде и на роликах – 5, а на всех трех – 3. Сколько детей не умеют кататься ни на сноуборде, ни на скейтборде, ни на роликах? *Ответ: 20.*

3. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ СФЕРЫ СЕРВИСА

3.1. Математические модели сервисной деятельности. Оптимизация

В современной сервисной деятельности довольно широко используется математический аппарат – проводится математическая обработка статистических данных, выводятся графики зависимостей, производится компьютерное моделирование экономических процессов. Развитие подобных исследований стимулируется, во-первых, необходимостью решения проблемы рационального выбора решений; во-вторых, необходимостью более полного понимания сущности происходящих процессов, уяснения их экономической природы и движущих сил; в-третьих, компьютерное моделирование и использование математического аппарата существенно снижает издержки предприятия при осуществлении планирования и прогнозирования мероприятий.

Математическое моделирование обычно проводится на количественном уровне с использованием конструктивных моделей. Процессы математического моделирования экономических систем описаны в трудах таких отечественных авторов, как Е. В. Бережная, Г. Л. Бродецкий, В. И. Варфоломеев, Л. Н. Васильева, А. А. Васин, М. П. Власов, С. Н. Воробьев, Е. А. Горбунов, Д. А. Гусев, Е. А. Деева, В. Г. Елиферов, А. А. Емельянов, В. М. Казиев, Г. Н. Калянов, А. Н. Катулев, Г. Б. Клейнер, Н. Б. Кобелев, А. С. Козлов, Е. С. Кундышева, А. Г. Левин, Н. Н. Лычкина, В. В. Морозов, Н. А. Орехов, И. В. Орлова, Н. М. Оскорбин, И. В. Пономарев, В. В. Репин, Н. А. Северцев, В. А. Силич, М. П. Силич, В. И. Степанов, В. Н. Хачатрян, М. В. Шебзухова, П. Д. Шимко, Е. В. Шикин, А. Г. Чхартишвили и др.

Работы с применением математических методов и моделей сервисной деятельности выполнялись В. В. Галкиным, Е. А. Голубковым, Н. Б. Кобелевым, В. М. Стеняевым, Ю. А. Сушковым и др.

Математические модели тесно связаны с оптимизацией систем и процессов. С точки зрения процессного подхода, термин «оптимизация» (от лат. *optimus* – наилучший) может иметь два значения. Под ним может пониматься: во-первых, процесс выбора наилучшего варианта из возможных в соответствии с критерием оптимизации; во-вторых, процесс приведения системы в наилучшее (оптимальное) состояние в соответствии с критерием оптимизации. Как видно, ключевым понятием оптимизации является критерий оптимизации.

Критерий (от греч. *kriterion* – средство для суждения) – это признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо; мерило, оценка. Критерий – это мера близости к цели. В этом смысле критерий – это модель цели. Критерий оптимизации отождествляется с показателем эффективности системы и может выражаться как в качественной, так и в количественной форме. От критериев требуется как можно большее сходство с целями для того, чтобы оптимизация решения в системе выбранных критериев соответствовала максимальному приближению к цели.

Е. А. Голубков отмечает: при выборе критерия необходимо, чтобы выполнялось следующее условие: критерии, используемые для решения задач низшего уровня, должны логически совпадать с критериями, используемыми на следующем, более высоком уровне.

В зависимости от числа критериев, по которым выполняется оптимизация объекта, различают однокритериальную и многокритериальную оптимизацию.

Наряду с выбранными критериями большое влияние на выбор того или иного варианта решения оказывает система выделенных в задаче ограничений как условий, отражающих влияние внешних и внутренних факторов, которые нужно учитывать при принятии решений. Требования системности требуют учета всех возможных ограничений: организационных, экономических, правовых, техни-

ческих, психологических и т. д. При этом качественные ограничения формулируются, как правило, в терминах «не разрешается», «не допускается», а количественные – «не более», «не менее», «в интервале от – до». Ограничения, как правило, конкретизируют сформулированные ранее цели и в ряде случаев могут сделать их нереализуемыми. В этом случае необходимо через проведение ряда итерационных процедур снять часть ограничений.

При формировании целей и ограничений используется так называемое пространство целеполагания. Пространство целеполагания – совокупность систем, предъявляющих требования к исследуемой системе. Для организационных систем это пространство включает такие системы окружающей среды, как вышестоящие организации, местные и федеральные органы управления, ведомственные организации, потребители и поставщики. В пространство целеполагания также включается сама система, предъявляющая собственные требования.

Оптимизация осуществляется в соответствии с *параметрами оптимизации* (x). Выделяют понятие параметрической оптимизации как проектной процедуры, имеющей целью определение значений управляемых параметров проектируемого объекта, наилучших с позиций выбранного критерия, при условии соблюдения заданных ограничений и при фиксированной структуре объекта.

К оптимизации приступают в случаях снижения эффективности бизнес-процессов из-за изменения целей и стратегии бизнеса; изменения условий ведения бизнеса; внедрения новых технологий; создания новых продуктов. При этом снижение эффективности бизнес-процессов на предприятии сервиса проявляется в завышенных сроках обслуживания клиентов; упущенной выгоде от несостоявшихся сделок; чрезмерных издержках.

Целью оптимизации является получение системных эффектов. *Системный эффект* (эмерджентность²⁰) – это результат специальной реорганизации элементов системы, когда целое становится больше простой суммы частей.

²⁰ Возникновение у системы новых свойств за счет взаимодействия составляющих систему элементов.

Пример. Появление автомобиля, доступного для среднего класса в США в 20-30-х гг. XX в., привело к массовой автомобилизации населения. Следствием стало достижение системного эффекта в виде перемещения среднего класса в пригороды мегаполисов с более комфортными и безопасными условиями проживания; развитие сети дорог и мощной придорожной инфраструктуры, включающей сети автозаправок, ремонтных мастерских, придорожных магазинов и точек питания; быстрое развитие территорий и внутреннего туризма.

Критерий оптимизации (Y) – количественный или порядковый показатель, выражающий предельную меру эффекта (например, экономического) принимаемого решения для сравнительной оценки возможных решений (альтернатив) и выбора наилучшего. В экономике критериями оптимизации могут быть: максимум прибыли, минимум издержек и времени достижения цели, ассортимент услуг, численность персонала и др.

Критерии оптимизации сервисного предприятия должны иметь более или менее стабильный характер изменения во времени и необходимую инвариантность от случайных факторов, которых в сфере сервиса очень много. Как показывает опыт практической деятельности, достаточно стабильными критериями оптимизации могут быть: уровень потребления услуг на душу населения в стоимостном²¹ или натуральном выражении; размеры капитальных вложений, основных производственных фондов, оборотных средств, фонда заработной платы; численность персонала; ресурсы: производственные с учетом их структуры и мест размещения, финансовые, информационные.

Как показывает опыт деятельности предприятий сервиса, оптимизация по этим критериям дает наилучшие результаты.

Говоря об оптимизации управления перечисленными параметрами, следует уточнить уровни управления, т. е. иерархическую структуру, на которой будет происходить оптимизация управления. Оптимизацию управления можно осуществлять на всех уровнях

²¹ При сопоставимых ценах и структурах услуг.

управления. Вместе с тем следует предостеречь от чрезмерного увлечения оптимизацией управления на нижних уровнях, так как при переходе от верхних уровней управления к нижним резко увеличивается стоимость организационного, информационного и технического обеспечения оптимальных решений.

Возвращаясь к теме математического моделирования, отметим, что математическая модель в общем виде может быть представлена уравнением

$$E = f(x_i, y_j),$$

где E – критерий эффективности системы (например, эффективности работы предприятия); x_i – управляемые переменные системы, т. е. те, на которые может воздействовать лицо, принимающее решение (например, для предприятия – организационная структура, размещение рабочей силы и др.); y_j – неуправляемые переменные (например, факторы внешней среды).

Для линейной зависимости критерия оптимизации от параметров оптимизации справедливо соотношение в виде полинома:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + \dots \quad (1)$$

При этом коэффициенты a_i определяются опытным путем, в частности, планируемым экспериментом. Причем необходимо определиться с набором параметров x_i . Их выбор производится, исходя из априорной информации.

Чем выше значение коэффициента a_i , тем больше значимость параметра x_i . При $a_i \rightarrow 0$ параметром x_i можно пренебречь.

Пример. Североамериканская школа ресторанного бизнеса предлагает простую формулу расчета максимума маржи²² (Y):

$$Y = 2 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4,$$

где x_1 – холодная или горячая закуска, салат или суп; x_2 – основное горячее блюдо; x_3 – прохладительный напиток; x_4 – чай или кофе.

²² Маржа – аналог понятия «прибыль», разница между ценой и себестоимостью.

Таким образом, если официант продал

*закуску + суп + основное горячее блюдо +
+ прохладительный напиток + горячий напиток*

или

*салат + горячую закуску + основное горячее блюдо +
+ прохладительный напиток + горячий напиток,*

ресторан получил наибольшую маржу.

В качестве априорной информации для построения данного полинома использовался огромный массив данных о марже ресторанов и составе кассовых чеков.

Пример. Построение математической модели на основе информации, представленной в статье Сергея Миронова «Еще один способ оптимизации работы ресторана». Ниже приводится текст статьи с комментариями, необходимыми для построения математической модели:

Давайте поговорим еще об одном способе оптимизации работы ресторана: увеличении скорости работы структурных подразделений. Некоторое время назад наша компания оказывала консалтинговые услуги небольшой сети ресторанов. В одном из ресторанов этой сети, который открылся самым первым, благодаря удачному расположению в торговом комплексе, дела шли очень успешно. В пятницу, субботу и воскресенье все столики заняты, запись в листе ожидания, чтобы поесть, на час вперед. И при этом вполне неплохая, для их площади и уровня цен, максимально возможная выручка, с потолком в 300 тысяч рублей в выходной день. Как сделать так, чтоб поднять этот максимум и ресторан приносил бы больше прибыли за один конкретно взятый день? При этом еще раз отмечу, что с посещаемостью у ресторана полный порядок и создается впечатление, что он работает на пределе своих возможностей.

Первыми в голову приходят две стандартные мысли: поработать над увеличением среднего чека или поднять цены. Увеличение цен в этом случае – это не выход, так как я уже говорил, что ресторан сетевой и определенное пересечение клиентской базы

в разных ресторанах есть и к тому же другие рестораны сети только находятся в стадии развития, и синхронное повышение цен убьет их. А по поводу среднего чека, дело в том, что в ресторане работал неплохой тренинг-менеджер, и мы лишь немного подкорректировали предложение. Поэтому увеличивать продажи можно было бы только агрессивным способом, но в данном случае, в долгосрочной перспективе, это негативным образом сказалось бы на работе ресторана.

Остался единственный способ – надо увеличивать скорость оборачиваемости столов. Как это сделать? За счет увеличения скорости обслуживания. Как этого можно добиться?

- Комментарий к статье: критерием оптимизации Y выбран рост прибыли предприятия за счет увеличения скорости обслуживания.

В первую очередь, мы сосредоточили внимание на скорости работы официантов.

- Комментарий к статье: параметром оптимизации x_1 выбрана скорость работы официантов.

Мы увеличили их количество для того, чтобы на одного официанта приходилось меньше столов и не было задержек с приемом заказа и обслуживанием. Поменяли по природе более медлительных людей, на более скоростных. Поставили дополнительный официантский терминал, чтоб исключить малейшие задержки с пробитием чека заказа. Расширили зону раздачи на кухне, чтоб избежать толкотни и неразберихи в этой точке. Увеличили количество подносов и инвентаря, чтоб официант не терял драгоценное время на ожидание, пока нужная ему вещь освободится или бежал через весь зал за нужным ему подносом, который он оставил на мойке. Взяли помощников официантов для работы в зале, на уборку грязных столов, пепельниц и прочего, чтоб официант в первую очередь заботился о скорейшем принятии и выносе заказов, не отвлекаясь ни на что другое. Добавили дополнительную официантскую станцию. Поставили вторую хостес, чтоб поднять эффективность работы со столами и чтоб они ни в коем случае не простаивали пустыми. Все эти меры позволили оторвать максимальную выручку с 300 до 370 тысяч рублей в день.

• Комментарий к статье: как видно, после изменения работы официантов выручка увеличилась на

$$370\ 000 - 300\ 000 = 70\ 000 \text{ рублей в день.}$$

Очевидно, что эта величина связана с коэффициентом a_1 . Примем $a_1 = 1$.

Казалось бы все, поставленная цель достигнута, но давайте смотреть, что можно сделать дальше. С увеличением скорости работы в зале, бар начал немного отставать.

• Комментарий к статье: параметром оптимизации x_2 выбрана скорость работы барменов.

Что делать? Мы убрали из меню трудоемкие позиции, отнимающие на их приготовление массу времени. Максимально увеличили число барменов, ровно до того количества, пока они свободно помещаются за барной стойкой и при этом не мешают друг другу работать. Оптимизировали процесс приготовления трудоемких позиций, которые нельзя убрать из меню. Например, для мохито сделали так, чтоб все ингредиенты для его приготовления были под рукой и в подготовленном для закладки в стакан виде. Поставили ледогенератор для фραπε, чтоб отпала необходимость дробить лед вручную с помощью мельниц. Ввели график заготовки фрешей, просчитав дневную проходимость и нагрузку по часам так, чтоб сок выдавливали шесть раз за смену, он был свежим и не застаивался, но в часы пик не требовал много времени на отдачу. Поставили бас-боя на посуду. В итоге выручка поднялась до 420 тысяч.

• Комментарий к статье: как видно, после изменения работы барменов выручка увеличилась еще на

$$420\ 000 - 370\ 000 = 50\ 000 \text{ рублей в день.}$$

Очевидно, что эта величина связана с коэффициентом a_2 . Если a_1 принято равным единице, то пропорционально

$$a_2 = 50\ 000 : 70\ 000 = 0,714.$$

Далее следует кухня.

- Комментарий к статье: параметром оптимизации x_3 выбрана скорость работы поваров.

С ней (кухней) пришлось поработать гораздо больше. Мы заменили часть оборудования на более производительное. Например, поставили мощную фритюрницу вместо маленькой настольной, так как много блюд, из-за специфики кухни, готовилось именно в ней. Увеличили количество микроволновок, чтоб не наблюдать картины, когда несколько тарелок вряд ожидают своей очереди. Внесли изменения в расстановку оборудования, чтоб каждый повар в процессе приготовления блюда совершал минимум лишних движений. Поменяли часть холодильников с непрозрачными дверями, на прозрачные, чтоб повар заранее видел, где стоит нужная ему вещь, а не открыв дверь судорожно шарил по разным углам, вынимая и переставляя гостроемкости. Подогнали товарное соседство продуктов на полках так, чтоб повару не приходилось бегать по разным местам кухни для приготовления одного блюда. Оптимизировали заготовку, рассчитав количество необходимых для работы полуфабрикатов. Упорядочили работу шеф-повара и су-шефов, выведя их из горячего цеха на общее регулирование работы. Ведь они должны управлять всей командой поваров, а не уходить с головой в один цех и не иметь достаточной возможности увидеть, что происходит в других. Оптимизировали взаимодействие между поварами. Увеличили количество посуды и инвентаря, чтоб повара не вынуждены были ждать, когда помоеется нужная сковородка или недостающие тарелки. Убрали из меню блюда, на приготовление которых, даже несмотря на проделанную оптимизацию, требовалось длительное время. И благодаря этому всему, максимальное время отдачи горячих блюд сократилось с 40 до 20 мин., а итоговая выручка возросла с 420 до 500 тысяч рублей.

- Комментарий к статье: как видно, после изменения работы поваров выручка увеличилась еще на

$$500\ 000 - 420\ 000 = 80\ 000 \text{ рублей в день.}$$

Очевидно, что эта величина связана с коэффициентом a_3 . Если a_1 принято равным единице, то пропорционально

$$a_3 = 80\ 000 : 70\ 000 = 1,143.$$

А теперь заметьте, благодаря всей проделанной работе по оптимизации, мы увеличили максимально возможную выручку ресторана с 300 000 до полумиллиона рублей. Хотя изначально казалось, что ресторан является заложником своей малой площади и больше на этих квадратных метрах заработать не получится. В конечном итоге все затраты на оптимизацию окупилась достаточно быстро. Безусловно, я не написал ничего нового и революционного, того, чего бы ни знал опытный ресторатор, и все проделанные нами вещи понятны и банальны. Но почему для того, чтоб все это осуществить, необходимо приглашать сторонних специалистов? Усталость? Банальная лень? Я думаю, что все дело в том, что ничего так не расслабляет ресторатора, как вид полностью заполненного гостями ресторана. И тут появляется желание расслабиться и почитать на лаврах. Но в ресторане, к сожалению и к счастью, нет предела для совершенствования.

• Комментарий к статье: подставив полученные значения a_i в полином (1), получим математическую модель:

$$Y = 1 \cdot x_1 + 0,714 \cdot x_2 + 1,143 \cdot x_3,$$

где x_1 – скорость работы официантов; x_2 – скорость работы барменов; x_3 – скорость работы поваров.

Выводы по примеру:

1) математическая модель построена на основании данных о выручке предприятия, приведенных в публикации, однако при построении реальных математических моделей необходима статистическая обработка материала;

2) рассмотрение математической модели показывает, что наибольший вклад в оптимизацию работы ресторана по критерию роста выручки заведения внесли мероприятия, способствующие повышению скорости работы поваров и официантов;

3) оптимизация сопровождалась изменением численности персонала, условий его труда;

4) большое значение имела работа по соблюдению эргономических требований.

3.2. Оптимизация бизнес-процессов предприятия сферы сервиса

Оптимизацию бизнес-процессов можно рассматривать с точки зрения двух подходов:

– *первый подход* – качественный, т. е. появление предложений новых, пользующихся спросом услуг/исчезновение позиций маловостребованных услуг; правильная расстановка персонала и т. п.;

– *второй подход* – количественный, т. е. увеличение/снижение ассортимента услуг, количества точек продаж, численности персонала и т. п.

Можно выделить следующие этапы процесса оптимизации:

1) сформулировать цель оптимизации в соответствии со SMART-критериями;

2) выделить «лимитирующие»²³ бизнес-процессы, требующие оптимизации;

3) разработать план оптимизации, реализовать его и оценить полученные результаты.

Следует отметить, что бывают ситуации, когда оптимизация не приносит ожидаемых результатов, а становится напрасной тратой времени и ресурсов, например, в очень маленьких компаниях с несложными бизнес-процессами, жизненный цикл которых небольшой. Затраты на проведение описания бизнес-процессов, выявление показателей для улучшения явно будут выше реальной выгоды оптимизации. Другой пример – молодые компании с быстрым ростом. Бизнес-процессы в таких компаниях незрелые, постоянно меняющиеся, и их описание в конечном итоге может на момент готовности не соответствовать действительности или быть устаревшим.

²³ Если процесс осуществляется путем последовательно протекающих стадий и одна из этих стадий требует значительно большего времени, чем остальные, то эта стадия является лимитирующей, так как именно она будет наиболее существенным образом влиять на скорость всего процесса.

Пример. Подходы к оптимизации меню предприятия общественного питания по Г. А. Бондаренко. На первом этапе оптимизации выполняется анализ меню, цель которого – сократить ассортимент предлагаемых блюд, оставив лишь те, которые пользуются наибольшим спросом и приносят высокую прибыль.

Г. А. Бондаренко в учебном пособии «Менеджмент гостеприимства» описывает несколько классических методов анализа меню. Один из них предполагает разделение ассортимента блюд на две группы: пользующиеся и не пользующиеся спросом клиентов. Так, Хасейсом и Гуфманом (1985) был предложен метод, в основе которого лежит ранжирование блюд в меню – присвоение каждому блюду индивидуального ранга в зависимости от прибыльности. Блюда первых трех рангов приносят наивысшую прибыль (пример в табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Ранжирование блюд по методу Хайеса – Гуфмана

Ранг	Блюдо	Чистая прибыль/ убыток, усл. ед.
1	Лангет	+58,30
2	Куриное филе в белках	+26,66
3	Помидоры, фаршированные сырным салатом	+21,03
4	Салат из кукурузы с черносливом	+19,75
5	Карбонад с гарниром	+16,65
6	Креветки	-2,32
7	Грибы, запеченные в сметане	-10,15
8	Осетрина заливная	-17,74
9	Спагетти	-19,40
10	Баранина, жареная на вертеле	-20,35

В основе других методов анализа лежит разбивка ассортимента блюд на четыре основных группы (каждая с наименьшими и наибольшими объемами спроса – продаж, прибылью и другими показателями), а затем оптимизация меню на основе сравнительного анализа.

Метод Мидлера (1980) предполагает матрицу, вертикальная ось которой – объем продаж, горизонтальная – себестоимость (в процентах). Лучшими («лидерами») признаются блюда с наименьшей себестоимостью и большим спросом (объемом продаж).

Профессором Вашингтонского университета Доналдом Смитом в учебном курсе «Инжиниринг меню» (1982) была предложена схема, состоящая из четырех позиций, оценивающих каждое блюдо в меню. Блюда, занимающие наилучшую позицию, считаются «звездами». Они обладают высокой валовой прибылью (горизонтальная ось координат) и самым высоким объемом продаж (вертикальная ось координат), причем валовую прибыль Д. Смит определял как разницу между ценой и себестоимостью – без учета объема продаж. Противоположную (наихудшую) позицию занимают блюда «собачки». В меню каждого предприятия обычно присутствуют все четыре позиции блюд – от «звезд» до «собачек». Менеджеры стремятся увеличить число «звезд» и вовсе избавиться от «собачек». Однако на практике сделать это трудно, поскольку случается так, что сегодняшняя «звезда» завтра надоедает гостям и превращается в «загадку» или «рабочую лошадку». И наоборот, блюдо-«загадка» превращается в очередную «звезду».

Дэвид Пэйвесик (1983) для анализа меню предложил руководствоваться комбинацией трех переменных: себестоимостью блюд, валовой прибылью, объемом продаж. В предложенной матрице лучшие позиции у блюд с низкой себестоимостью и высокой валовой прибылью (средневзвешенной), дополненной высоким объемом продаж.

Проводя сравнительный анализ меню по всем предложенным методам, в обязательном порядке необходимо учитывать следующие факторы: различные группы блюд в меню (закуски, основные блюда, десерты и т. д.); время еды (ланч, ужин и т. д.) и форму обслуживания; размер ресторана и тип управления; период действия анализа.

На основании проведенного анализа выделяются позиции, требующие удаления. В результате ассортимент блюд сокращается при сохраняющемся интересе потребителей к заведению и его прибыльности.

В литературе выделяются классические приемы оптимизации процессов и систем сервиса.

П р и е м 1. *Вынесение цели за рамки процесса.* При оптимизации любых бизнес-процессов необходимо четкое описание цели. Нужно сформулировать цель, которая могла бы быть достигнута не только посредством реализации процесса, но и другими доступными способами.

П р и е м 2. *Исключение лишних шагов из процесса.* При реализации этого приема необходимо рассмотреть цель каждого шага процесса, задаться вопросом: можно ли исключить какие-либо шаги или объединить их. Для того чтобы использовать этот прием, необходимо проанализировать расписанный по шагам бизнес-процесс посредством вопросов: есть ли этапы, которые дублируют друг друга, можно ли убрать один из них; все ли этапы процесса необходимы для главной цели процесса, если ли такие, без которых можно обойтись?

П р и е м 3. *Изменение последовательности этапов исполнения процесса.* Для того чтобы использовать этот прием, нужно проанализировать расписанный по шагам бизнес-процесс посредством вопросов: какие из шагов процесса являются самыми значимыми для успешного завершения процесса; можно ли данные шаги переместить ближе к началу процесса?

Пример. В книге «Как навести порядок в своем бизнесе» Михаил Рыбаков описывает пример процедуры выдачи кредита в банке. Последовательность действий была такова, что сначала менеджер банка оформлял все документы и только когда 90 % работы выполнено, отправлялся запрос в службу безопасности. В случае, если служба безопасности не одобряла выдачу кредита, 90 % работы оказываются выполненными зря. В случае применения приема изменения последовательности этапов исполнения процесса операцию проверки потенциального клиента службой безопасности

нужно сделать первым шагом в процедуре оформления кредита, что позволит не совершать лишних операций в случае отказа.

П р и е м 4. Дробление операций. Известно, что чем более совершенны бизнес-процессы, тем меньше требований к квалификации сотрудников они предъявляют. Суть данного приема состоит как раз в таком дроблении процессов и операций, которое приводит к упрощению процесса в целом. По сути это есть конвейерный принцип работы, известный еще с глубокой древности.

Для того чтобы использовать данный прием, необходимо проанализировать расписанный по шагам бизнес-процесс посредством вопросов: какие операции в процессе требуют наибольшей квалификации исполнителя; можно ли данные операции разделить на более простые операции, чтобы требования к исполнителю снизились?

П р и е м 5. Вынесение операций за рамки основного процесса. Часто в сложных процессах, насыщенных операциями, один и тот же исполнитель выполняет все операции, что существенно затягивает процесс, а также заметно снижает его качество, потому что мастера-универсалы встречаются очень редко.

Для того чтобы использовать прием, необходимо проанализировать шаги прописанного бизнес-процесса посредством вопросов: какие операции в данном процессе являются лимитирующими; могут ли данные операции быть поручены другим исполнителям без ущерба для процесса? Причем важно понимать, что операции могут быть поручены не только сотрудникам своей компании, но и вынесены на аутсорсинг.

П р и е м 6. Объединение операций во времени и(или) пространстве. Этот прием очень часто используется в промышленности и сельском хозяйстве. Например, цеха по производству колбас и копченостей часто располагаются прямо на фермах, которые занимаются разведением птицы или скота.

Для того чтобы использовать прием, необходимо проанализировать расписанный по шагам бизнес-процесс посредством вопроса: есть ли в данном процессе операции, которые было бы более целесообразно объединить во времени и (или) в пространстве? Например, в салоне красоты с клиенткой могут работать несколько мастеров одновременно.

Прием 7. *Автоматизация, передача выполнения части или всех функций машине.* Данный прием применяется в той ситуации, когда техническое устройство может полностью взять на себя все операции по реализации процесса, а человек периодически обслуживает устройство.

Для того чтобы использовать прием, необходимо проанализировать расписанный по шагам бизнес-процесс: есть ли на данный момент технические устройства, которые могут выполнять операции, присутствующие в процессе, без потери качества? В настоящее время потребители привыкли к автоответчикам; окнам онлайн-бронирования на сайтах гостиниц и транспортных предприятий; автоматам по продаже входных билетов, машинкам для чистки обуви.

Пример. Нельзя не упомянуть про торговые (вендинговые) автоматы, которые впервые заменили продавца еще в 1880-е гг. в США. В 1946 г. там же появились первые кофейные аппараты, которые не только продавали кофе, но и готовили его из цельных обжаренных зерен. Современные предприниматели выделяют следующие достоинства вендинговых автоматов: отсутствие необходимости платить заработную плату продавцам; круглосуточная работа; возможность постоянного расширения ассортимента продаваемых продуктов; несложное сервисное обслуживание; небольшие стартовые вложения; малые производственные площади; хорошая рентабельность бизнеса; для ряда моделей – возможность антивандальной защиты. К недостаткам же вендинговых автоматов можно отнести ассоциацию (у потенциальных потребителей) продуктов, продаваемых в аппаратах с вредным фаст-фудом, а также риски повреждения аппарата вандалами в том случае, если автомат установлен на открытой территории, без охраны и наблюдения.

Разберем несколько примеров использования приемов оптимизации в сфере процессов и систем сервиса.

Пример. *Оптимизация работы современного кинотеатра.* Оптимизация работы кинотеатров – это сложный, многоплано-

вый процесс, который требует вложения большого количества сил и средств, но гарантирует эффективную работу кинотеатра²⁴.

Пример. *Оптимизация продаж билетов на футбольные матчи.* Спортивные состязания проводятся для достижения определенных целей. Основные из них – это популяризация определенного вида спорта, организация досуга для населения, получение прибыли. Прибыль состоит из призовых, полученных с соревнований, поступлений от телетрансляций, спонсоров, от трансферов спортсменов и от продажи билетов. Последняя статья доходов может приносить значительные финансовые средства в бюджет спортивной организации при грамотно проведенной оптимизации продаж билетов²⁵.

Пример. *Управление движением потоков покупателей в магазине.* Под управлением покупательским потоком подразумевается спектр архитектурно-строительных и дизайнерских решений, способствующих более длительному пребыванию покупателей в магазине, а также (потенциальному) увеличению конверсии (количества покупателей среди посетителей) и среднего чека²⁶.

Пример. *Оптимизация движения потоков посетителей на крупных деловых мероприятиях (выставках).* Крупномасштабные мероприятия – это события, выделяющиеся большим охватом гостей, привлекающей повышенное внимание тематикой, различными аудиториями и местами проведения. Примерами

²⁴ См.: *Исмагилова А. А., Голубева Т. Б.* Об оптимизации работы кинотеатров // VII Междунар. студ. электрон. конф. «Студенческий научный форум-2015» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1167/13057> (дата обращения: 20.01.2016).

²⁵ См.: *Парыгин А. В.* Оптимизация продаж билетов в клубах Российской футбольной Премьер-Лиги // VII Междунар. студ. электрон. конф. «Студенческий научный форум-2015» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1168/13065> (дата обращения: 20.01.2016).

²⁶ См.: *Гордеева А. Г.* Новый поворот... что он нам несет? Движение покупательского потока в торговом зале: анализ, приемы оптимизации // Управление магазином [Электронный ресурс]. URL: <http://www.src-master.ru/article27196.html> (дата обращения: 20.01.2016).

крупномасштабных мероприятий являются прежде всего крупные международные, региональные или локальные выставки, фестивали, городские праздники и т. д. Проведение таких мероприятий способствует улучшению имиджа, повышению уровня репрезентативности и укрепления социальных позиций организаторов. Поэтому крупномасштабные мероприятия – это всегда долгий и трудоемкий процесс подготовки, состоящий из немалого количества различных этапов. Одним из важных этапов в подготовке к таким событиям является этап оптимизации потоков посетителей. Важность этого этапа обусловлена тем, что крупномасштабные мероприятия всегда связаны со скоплением большого числа как экспонентов, так и посетителей. Управление же людскими потоками является важной составляющей успешного и безопасного проведения события²⁷.

Пример. *Оптимизация издержек компании за счет перевода сотрудников на удаленную работу.* В условиях кризиса организации используют все возможные варианты для оптимизации бизнес-процессов. К примеру, с помощью современных интернет-технологий можно организовать удаленные рабочие места и вести бизнес на расстоянии. Подобная схема ведения бизнес-процессов позволяет компаниям в большей степени сэкономить на аренде помещений. При этом не надо покупать мебель и оргтехнику, обустраивать и поддерживать коммуникационную инфраструктуру. Для удаленных рабочих мест необходимо только наличие телефона и/или компьютера для ведения телефонных переговоров и электронной переписки с клиентами. Для организации полноценного удаленного рабочего пространства и объединения всех сотрудников в единую корпоративную телефонную сеть руководители компаний подключают облачные решения²⁸.

²⁷ Подробнее см.: *Суворова Я. В.* Оптимизация потоков посетителей на крупномасштабных мероприятиях // VII Междунар. студ. конф. «Студенческий научный форум-2015» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1167/13059> (дата обращения: 20.01.2016).

²⁸ Подробно в режиме доступа: http://www.e1.ru/news/spool/news_id-414078.html.

3.3. Эргономика на предприятиях сервиса

Производительность труда персонала, его комфорт и комфорт клиентов заведения зависят от того, насколько рационально спланировано помещение в целом, контактная зона²⁹ и рабочее место каждого сотрудника в частности.

Изучение изменений функционального состояния организма человека под воздействием его трудовой деятельности, выработка правил и мероприятий, способствующих длительному поддержанию работоспособности на высоком уровне, включает в себя научная дисциплина эргономика. *Эргономика* (от греч. *ergon* – работа и *nomos* – закон) – наука, изучающая человека или группу людей и его (их) деятельность в условиях современного производства с целью оптимизации орудий, условий и процесса труда. Исследователи доказали, что при соблюдении эргономических требований экономится ~30 % рабочего времени и, соответственно, увеличивается производительность труда.

Основные принципы эргономичной организации рабочего места – комфорт и минимизация нагрузок за счет того, что конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психофизиологическим особенностям работника, а также его личностным качествам.

Приведем выдержку из памятки для рабочих Центрального института труда (1924), в которой представлены азы эргономических требований:

- на месте не должно быть ничего лишнего, все необходимое для работы должно находиться в непосредственной близости

²⁹ *Контактная зона* – это место предоставления услуг, взаимодействия работника предприятия сервиса с клиентами. Примеры – торговые залы магазинов, вестибюли гостиниц. Контактная зона сервисного предприятия должна соответствовать характеру и содержанию деятельности предприятия сервиса. В контактной зоне потребителям и персоналу должны быть доступны нормативные и технические документы, правила оказания услуг, книга жалоб и предложений и должностные инструкции. Предприятие сервиса вправе самостоятельно устанавливать в местах оказания услуг правила поведения для потребителей, которые не противоречат законодательству Российской Федерации. К примеру, ограничение курения, запрещение находиться в верхней одежде и уличной обуви и др.

от работающего, размещение оснастки должно исключать неудобные позы работника;

- те предметы, которыми пользуются чаще, располагаются ближе тех предметов, которыми пользуются редко;

- те предметы, которые берутся левой рукой, должны находиться слева, а те предметы, что берутся правой рукой, – справа;

- более опасная, с точки зрения травмирования, оснастка должна располагаться ниже менее опасной оснастки; однако при этом следует учитывать, что тяжелые предметы при работе удобнее и легче опускать, чем поднимать.

- рабочее место не должно загромождаться заготовками и готовыми деталями.

Особое внимание рекомендуется обращать на цветовые решения помещений. *Цвет* – один из важнейших источников информации, сильно влияющей на психическое и физиологическое состояние человека. При этом теплые цвета действуют возбуждающе, тонизируют, повышают работоспособность; холодные расширяют пространство, помогают сосредоточенности и самоуглубленности. Коричневый цвет способствует улучшению исполнительских функций; синий повышает активность головного мозга и снижает аппетит; желтый и оранжевый поднимают настроение и стимулируют возникновение нестандартных решений; зеленый и голубой успокаивают, позволяют сосредоточиться. Долгое воздействие красного вызывает возбуждение, переходящее в агрессивность, но его небольшие акценты разбудят активность сотрудников. Розовый цвет чрезмерно расслабляет. Фиолетовый и черный угнетающе действуют на психику. Белый – нейтрален, дает ощущение чистоты.

Еще один важнейший фактор, который влияет на работоспособность и здоровье человека, – это *освещение*. Свет регулирует все функции человеческого организма и влияет на психологическое состояние и настроение, обмен веществ, гормональный фон и умственную активность. Самым здоровым светом остается естественный дневной. Чтобы его использовать, глубина помещений не должна превышать 6 м. Оптимальным вариантом искусственного освещения является комбинированная система, которая сочетает

в себе прямой и рассеянный свет. Причем стоит предпочитать галогенные лампы. Их свет более естествен и гораздо меньше утомляет глаза и нервную систему.

Важно учесть, что свет, как и цвет, – это мощный инструмент, влияющий и на психическое, и на физическое состояние людей. Свет имеет еще ряд важных особенностей – к примеру, теплоотдачу. Иногда в помещении трудно находиться из-за жара, исходящего от ламп. Поэтому важно выбрать правильный тип лампы для каждого отдельного случая.

Также на комфорт сотрудников и клиентов влияют и такие вещи, как *температура и влажность воздуха* в помещении. После ряда исследований выяснилось, что при температуре 25 °С количество ошибок составляло всего 10 %. Как только температура понижалась до 20 °С, скорость печати сокращалась почти в два раза, а количество ошибок возрастало до 25 %. Система климатического контроля должна не только поддерживать температуру и влажность воздуха на заданном уровне, но и обеспечивать приток свежего воздуха, очищая его от уличной пыли и сажи.

Известно, что на показатели работы сотрудников предприятия сервиса влияет *шум* как случайное сочетание звуков различной интенсивности и частоты, который является раздражителем и в определенных условиях может влиять на все органы и системы организма. Показано, что у человека, находящегося в условиях повышенного шума, через пять лет слух ухудшается, а через десять лет может возникнуть глухота. Воздействие шума проявляется также в нарушениях нервной и сердечно-сосудистой деятельности. При этом женщины менее устойчивы к сильному шуму. В условиях звукового дискомфорта у них быстрее возникают признаки неврастения. При длительном воздействии шума у человека наблюдается ослабление памяти, замедление психических реакций, снижение темпа работы, ухудшение качества переработки информации. Доказано, что при увеличении шума сверх нормы на каждые 1–2 дБ производительность труда снижается на 1 %. Чтобы без соответствующих приборов представить себе уровень шума

в некоторых распространенных случаях в табл. 5 приведены примеры повседневных шумов и звуков.

Т а б л и ц а 5

Уровень звука

Источник шума	Уровень звука, дБ	Расстояние от источника шума, м
Шепот	20	1,0
Шепот	40	0,3
Обычный разговор в комнате	60	1,0
Звон будильника	70–80	1,0
Оживленная автомагистраль	80–85	7,5

Физиологи установили, что шум даже на уровне 50–60 дБ создает ощутимую нагрузку на нервную систему, если человек занимается умственной деятельностью. Поэтому, согласно санитарным нормам, уровень звука не должен превышать, дБ:

Дневное время (7.00–23.00):	Ночное время (23.00–7.00):
внутри здания 50	спальные помещения 30
снаружи здания 55	снаружи здания 45

Кроме интенсивности звука, значима и его частота. Давно замечено, что внезапные резкие звуки переносятся крайне тяжело, если они имеют высокую частоту, например, 1000–4000 Гц для человека. Особенно недопустимы внезапные резкие звуки в местах повышенной опасности – например, при большом скоплении народа на массовом мероприятии.

Однако наиболее заметные нарушения в жизнедеятельности организма наблюдаются при низких частотах звука (ниже 20 Гц) – в диапазоне инфразвука. Они возникают из-за явления резонанса при совпадении частоты внешнего воздействия с частотой собственных колебаний отдельных внутренних органов. Так, у человека частоты 6–12 Гц соответствуют собственным колебаниям органов,

а частота 7 Гц – α -ритмам мозга. Инфразвук большой мощности может даже вызвать остановку сердца человека. Инфразвуки создают ощущение психологического дискомфорта, развивают безотчетное чувство страха. Характерный пример их проявления – грозовые разряды (0,25–4 Гц), штормы «голос моря» (около 10 Гц).

Известно, что на работоспособность сотрудников и самочувствие клиентов большое влияние оказывает *чистота воздуха помещения*. Человек потребляет кислород воздуха и выдыхает углекислый газ. В процессе жизнедеятельности он выделяет и другие вещества. В помещениях предприятий сервиса используют препараты бытовой химии; иногда готовят пищу. Известно, что из строительных и отделочных материалов могут выделяться летучие вещества. Поэтому в непроветриваемом помещении содержание кислорода постепенно снижается. Одновременно возрастает содержание других веществ – углекислого газа, паров воды и др. При пониженном содержании кислорода наблюдается кислородное голодание мозга. Успешность умственной деятельности находится под вопросом. Кроме того, наблюдается общая слабость, мышечные и головные боли, нарушение сна и обмена веществ, мрачное настроение.

Для человека очень важен *пространственный комфорт*. Для многих людей необходимо, чтобы в окружающий их «воздушный пузырь» радиусом примерно 1–1,5 м не вторгались даже близкие родственники. Отсутствие пространства порождает отрицательные эмоции, нервное и физическое перенапряжение.

Пример. Организация контактной зоны предприятия сервиса. Установлено, что на решение потребителей о покупке услуги влияет оформление контактной зоны. Следует отметить, что имеет значение и наружное оформление сервисного предприятия, так как от него зависит количество посетителей. Как уже указывалось, контактная зона должна соответствовать характеру и содержанию деятельности предприятия сервиса. Помимо ранее перечисленной необходимой документации, важно соответствие эргономическим требованиям и нормам безопасности и экологичности интерьера

помещения, мебелировки, флористического оформления, указателей, освещения. Отдельно отметим следующие характеристики:

1. Аромат в контактной зоне³⁰. С древних времен известно, что ароматы способны вызывать быструю эмоциональную реакцию человека, оказывая тем самым влияние на его потребительский выбор. По данным одного из исследований, ароматизация воздуха в торговых залах магазинов позволяет оптимизировать их работу через повышение привлекательности заведения для покупателей (34 %); привлечение внимания к товарам и увеличение времени пребывания клиента в магазине (20 %); рост числа импульсивных покупок (7 %); стимулирование повторного посещения магазина. В ресторанах использование ароматов кофе и свежей выпечки позволяет поднять продажи горячих напитков и десертов. Установлено, что аромат итальянской рукколы или корицы способствует повышению продажи горячих блюд. Популярным для ресторанов является подбор ароматов, который подчеркивает стиль и дизайн интерьера, позволяя тем самым улучшить впечатления гостей. В отелях используется ароматизация воздуха в холле для особой встречи клиентов. В гостиничных номерах – для создания приятной атмосферы, а в уборных комнатах – для нейтрализации неприятных запахов. Ароматизация в конференц-залах, переговорных комнатах и других помещениях позволяет не только подчеркнуть стиль и статус заведения, но и наглядно продемонстрировать степень важности клиента, заботу о нем. Физиологами доказана роль ароматов в создании оптимальных условий труда: они поднимают работоспособность, улучшают память и внимание, поэтому могут повышать эффективность работы персонала предприятия сервиса и некоторых услуг, например, тренингов различной направленности;

2. Цветовые характеристики. Световое оформление контактной зоны может включать зеркальные шары и динамичные световые

³⁰ В литературе встречаются термины: *запах* – впечатление, возникающее при возбуждении рецепторов обоняния, находящихся в полости носа; *аромат* – приятный гармоничный запах; *букет* – комплекс специфических обонятельных нюансов, характерных для какого-то типа продуктов (вино, алкогольные напитки и т. п.).

конструкции, светодиодные лампы и дожди, металлогалогеновые прожекторы и др. При этом в качестве основных достаточно выбрать один-два цвета. Дизайнеры утверждают, что именно одно-тонность выглядит наиболее привлекательно для потребителей.

3. Освещение контактной зоны должно обеспечивать ее видимость. К примеру, в случае больших атриумов, часто встречающихся в современных торгово-развлекательных центрах, покупатели, стоящие внизу, могут обозревать в дневном свете витрины магазинов на верхних уровнях, что способствует появлению желания подняться «на свет».

4. Гигиеничность и чистота. По данным статистики от 70 до 90 % грязи попадает в помещение через вход на подошвах обуви посетителей. По данным исследователей даже в чистом Лондоне человек, входящий в помещение во время дождя, несет с собой примерно 7 грамм грязи. Обладая абразивными свойствами, грязь постепенно разрушает любое напольное покрытие, особенно на расстоянии 6 шагов от входа, т. е. 3–4 м помещения.

5. Звуковое сопровождение. Потребитель спокойно прогуливается по торговым центрам и тратит деньги под легкую, ненавязчивую музыку. К праздникам принято подбирать нечто особенное. Например, в канун Нового года – попсури из мультфильмов и детских песен на новогоднюю тему, классическую музыку, например, из балета «Щелкунчик».

Пример. Комфорт офиса складывается из эргономики рабочего места и рационального планирования офисного пространства в целом. Из-за увеличения численности сотрудников стало использоваться офисное пространство *Open Space*, в котором происходит деление на рабочие зоны так, чтобы каждый сотрудник работал максимально эффективно и сам по себе, и в команде. Эксперты, специализирующиеся в области создания офисного стиля и делового комфорта, считают, что наилучшие результаты дает использование стационарных или мобильных перегородок разной высоты и уровня прозрачности. Такие конструкции разделяют офис на индивидуальные изолированные отсеки. Кроме того, зачастую необходимо обеспечить звуковую и визуальную изоляцию рабочих мест.

Значим и фактор размещения техники (принтеры, копиры, сканеры), которой регулярно пользуются все работники. Нужно рационально разместить технику на месте пересечения всех рабочих маршрутов. Для организации отдыха стоит создать зону для кофе-брейков с высокими столами, чтобы проводить небольшое количество времени стоя, что позволит размяться.

К сожалению, в современном офисе преобладает сидячий образ работы. В течение одного дня среднестатистический офисный сотрудник сидит по 8 часов. Большое количество офисных сотрудников сидят ненадлежащим образом, т. е. без любого контакта со спинкой стула, с подогнутыми ногами или без возможности удобно поставить ноги на пол.

Между тем на табуретке или обычном стуле без вреда для здоровья можно провести не более 15 мин. в день. Из-за отсутствия удобного сиденья со временем появляются дискомфорт, неприятные ощущения из-за долгого неподвижного положения, которые впоследствии перерастают в более серьезные заболевания. Среди самых частых жалоб можно выделить головные боли и проблемы с концентрацией внимания, боль в шее и плечах, спине и позвоночнике; жалобы на боль в копчике, бедре, колене и икроножной мышце.

Сиденье-кресло в офисе, сводящее риск неприятностей со здоровьем к нулю, должно быть снабжено подлокотниками и подголовником, снимающими нагрузку с мышц плечевого пояса. Упругая спинка анатомической формы уменьшает нагрузку на позвоночник. В результате конструкция равномерно поддерживает тело по всей площади его соприкосновения с креслом.

Офисное эргономическое кресло должно также иметь элементы управления, позволяющие легко регулировать высоту и наклон сиденья, иметь регулировку спинки по высоте и углу наклона. Важно, чтобы сотрудник мог выполнять эти регулировки, находясь в положении сидя. Конструкция стула должна соответствовать выполнению любых задач. Другие компоненты рабочего места, такие как стол, компьютер, панели в кабинке управления, позволяют сбалан-

сировать работу. Чтобы сидеть правильно, с точки зрения эргономики, следует соблюдать несколько простых *правил*:

1. Ноги работнику нужно удобно расположить на полу. Поверхность стопы при этом образует угол в 90° с икрой. Это возможно путем регулировки высоты рабочего места.

2. Чтобы кровоток был свободным, колени должны образовать тупой угол с телом.

3. Подлокотники должны сформировать тупой угол между предплечьем и рукой.

4. Спинку следует немного отклонить назад, чтобы обеспечить нормальное функционирование внутренних органов.

5. Чтобы предотвратить онемение ног и давление на поверхность бедер, следует использовать всю глубину сидения.

6. Сидение в одной позе в течение долгого времени также нежелательно, поскольку приводит к лишним нагрузкам на тело. Поэтому необходимо менять положение тела, вытягивая ноги настолько часто, насколько это возможно, выгибать спину, качаясь на стуле.

Поверхность сидения эргономичного кресла плоская, с округленными передними краями. Ширина и глубина сидения составляют приблизительно 40 см. Эргономичные кресла и стулья имеют подлокотники с регулируемой высотой и промежуточными интервалами, которые необходимы для поддержки локтей, чтобы печатать на клавиатуре. Подлокотники поддерживают предплечья и запястья во время работы. Амортизатор гарантирует плавное регулирование высоты места. Комфортное сидение также создается за счет воздушной подушки внутри самого сидения.

Для столов наиболее эргономичной признана криволинейная угловая форма. За счет вогнутости большая часть площади стола оказывается используемой, поскольку попадает в зону охвата руками человека, равную 35–40 см. Площадь столешницы хорошего стола не может быть меньше 1 м 20 см. Высота от пола до столешницы, как правило, должна равняться рекомендованным европейскими нормами 74 см. Глубина офисного стола должна быть достаточной для того, чтобы расстояние до экрана компьютерного монитора было не менее 50 см.

Для полноценной работы офисного сотрудника также необходимы разного рода надстройки, лотки, подставки, прочие функциональные аксессуары. Но важно не загромождать ими стол. Лучше воспользоваться навесными полками или тумбочками на колесах, которые помогут организовать рабочее место по принципу «все под рукой», когда необходимые для ежедневной работы полки, тумбы, шкафы находятся на расстоянии вытянутой руки. Такое расположение мебели позволяет исключить ненужные затраты энергии и направить все силы на выполнение обязанностей.

Пример. Эргономика работы за компьютером.

Современное общество часто называют информационным. Для него характерно слишком быстрое распространение информационных технологий. Поэтому специалисты не успевают изучить возможные опасности для здоровья, связанные с чрезмерным пристрастием к относительно недавно появившимся вещам – сотовым телефонам и компьютерам. К настоящему времени выявлены риски, связанные, во-первых, с электромагнитным облучением; во-вторых, с появлением патологий, обусловленных положением тела перед компьютером, и, в-третьих, с ростом стрессов, вызванных информационными технологиями.

Излучение компьютерного монитора к настоящему моменту мало изучено. Однако установлено, что наиболее сильные уровни излучений наблюдаются от верхней и боковых стенок монитора. Известно, что в нашем организме наиболее уязвимы к действиям излучений живые ткани с плохой циркуляцией крови и регуляцией температуры. Например, хрусталик глаза. Поэтому при контакте с монитором надо беречь глаза. Перед тем как приступить к работе, необходимо отрегулировать высоту монитора таким образом, чтобы верхняя часть экрана находилась на уровне глаз или немного ниже. Взгляд должен быть направлен немного вниз, когда вы смотрите в центр экрана. Расстояние от глаз до монитора должно составлять от 500 до 710 мм.

Обнаружено опасное воздействие оргтехники на мускульно-скелетную систему человека. Французскими медиками описаны такие

заболевания, связанные с работой на компьютере, как синдром запястного канала, воспаления сухожилий в локтевых суставах и др.

Синдром запястного канала возникает из-за повторяющихся движений кисти руки при работе на клавиатуре и нажатии указательного пальца на левую кнопку мыши. Болезнь распознается по онемению и покалыванию в руке. Эти симптомы постепенно становятся болезненными настолько, что работа на клавиатуре делается невозможной. Специалисты рекомендуют работникам информационной сферы делать паузы, двигаться, выбирать удобное кресло, стараться держать спину прямо, не слишком сильно сжимать мышку и как можно легче бить по клавишам.

Установлено, что работа на компьютере порождает у человека стресс, поскольку обязывает перерабатывать огромное количество информации и систематически приобретать новые навыки, что чаще всего у работающего населения происходит под давлением окружения. Длительные стрессы вызывают у одних людей безразличие к окружающему, у других, напротив, агрессию и озлобленность.

Клавиатура должна располагаться на такой высоте, чтобы при работе руки в локтях были согнуты под углом не менее 80–90°, а кисти лежали прямо, параллельно предплечьям. Такое положение за компьютером позволит уменьшить нагрузку на руки, плечи и позвоночник, исключить быструю утомляемость и повысить эффективность труда. Основная масса компьютерных клавиатур выпускается либо в классическом белом, либо в черном цвете. Дело в том, что человеческий зрительный аппарат гораздо легче воспринимает черные знаки на белом фоне, поиск же белых букв на черных клавишах со временем раздражает хрусталик глаза. Поэтому для частого и интенсивного набора больших объемов текстов предпочтительнее будет белая клавиатура. В нынешнее время существует два вида клавиатур в зависимости от высоты клавиш – стандартные и *slim* (так называемые клавиатуры ноутбука). *Slim*-клавиатуры ныне более популярны, так как клавиши нажимаются мягче и имеют меньший ход. Это удобно для набора больших объемов текста, так как кисти рук при работе на такой клавиатуре устают значительно меньше.

В настоящее время многие производители намеренно изменяют привычное расположение клавиш на доске. При выборе клавиатуры следует это учитывать и изучать расположение клавиш перед покупкой. Нестандартно размещенные функциональные клавиши способны доставить массу неудобств при работе, заставляя переучивать привычные рукам комбинации. Это ведет к снижению продуктивности и может вызвать временную усталость в кистях.

Хорошая клавиатура должна быть как можно более «тихой», так как звонкий стук клавиш способен доставлять немало неудобств как вам самим, так и находящимся рядом людям. Громкий монотонный стрекот клавиатуры со временем способен вызывать раздражение и нервозность.

При работе с компьютерной мышью необходимо выполнять обязательные правила:

- Запястье должно быть прямым. Никогда не опирайтесь на запястье, лежащее на столе. Не изгибайте суставы запястья: оно должно лежать в естественном положении.
- Не сжимайте мышку с силой. Это вызывает ненужное напряжение мышц, нарушает кровообращение и затрудняет движения.
- Не работайте с мышкой полностью вытянутой рукой. Для движения мышкой должно быть достаточно свободного места.

Первое, на что стоит обращать внимание, выбирая компьютерную мышшь – это то, насколько удобно ей пользоваться. Размер мыши должен соответствовать размеру руки пользователя.

Следует помнить, что работа за компьютером вызывает усталость, в связи с чем необходимо периодически устраивать небольшие перерывы и менять положение тела.

Соблюдая требования эргономики и уделяя должное внимание комфорту рабочих мест, возможно легко оптимизировать рабочие места сотрудников, добившись существенного роста производительности труда.

Однако *следование принципам комфорта работников не должно противоречить принципу клиентоориентированности предприятия сервиса!* Так, известен классический пример, в котором ради удобства носильщиков багажа клиенты одного из пляжных

пансионатов, оказавшись на месте отдыха, вместо потрясающего вида океанских просторов, обещанных им рекламой, были вынуждены лицезреть заднюю дверь кухни и свисающие с бельевой веревки простыни. У гостей сразу же формировалось негативное отношение к месту отдыха, влияющее на их дальнейшее пребывание и отзывы.

Вопросы к разделу 3

1. Приведите пример удачного использования в практике сервиса приемов оптимизации: вынесение цели за рамки процесса; исключение лишних шагов из процесса; изменение последовательности этапов исполнения процесса; дробление операций; вынесение операций за рамки основного процесса; объединение операций во времени и(или) пространстве; передача части функций машине.

2. В соответствии с принципами эргономики предложите не менее трех мероприятий, способных повысить производительность труда на вашем рабочем/учебном месте.

3. По заданию научного руководителя на примере конкретного предприятия сервиса, с использованием списка литературы настоящего учебного пособия выполните исследование по проблеме оптимизации процессов и систем сервиса. Примерные темы исследований:

- a. Оптимизация ассортимента услуг;
- b. Оптимизация баз данных клиентов;
- c. Оптимизация календаря мероприятий;
- d. Оптимизация персонала предприятия сервиса;
- e. Оптимизация потоков посетителей предприятия сервиса;
- f. Оптимизация продаж услуг предприятия сервиса;
- g. Оптимизация контактной зоны предприятия сервиса;
- h. Оптимизация работы офиса;
- i. Оптимизация расходов времени персонала;
- j. Оптимизация сайта предприятия сервиса;
- k. Поисковая оптимизация.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Агентство оптимизации ресторанного бизнеса // РестКонсалт: [сайт]. URL: http://restconsult.ru/sergey_mironov/esche_odin_sposob_optimizatsii_restorana.html (дата обращения: 20.01.2016).

Анфилатов В. С. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В. С. Анфилатов ; под ред. А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

Ардашкин И. Б. Психодиагностика : учеб. пособие / И. Б. Ардашкин, И. А. Дубинина. – Томск : Изд-во ТПУ, 2001. С. 41–42 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psyoffice.ru/page,3,3633-ardashkin-i.b.-dubinina-i.a.-psikhodiagnostika.html> (дата обращения: 20.01.2016).

Баженова М. И. Развитие системного мышления студентов посредством проблемно-поисковых приемов работы с терминологией социально-гуманитарных дисциплин / М. И. Баженова // Современные методы и техники социально-гуманитарной практики : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Пермь : Перм. гос. нац.-исслед. ун-т, 2013. – С. 36–41.

Балин Г. Г. Применение вендинговых аппаратов в физкультурно-оздоровительных и спортивных сооружениях / Г. Г. Балин, Т. Б. Голубева // VI Междунар. студ. науч. конф. «Студенческий научный форум-2014» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/686/6279> (дата обращения: 20.01.2016).

Богданова Н. Л. Разработка целевой программы развития образовательного учреждения. Теоретические вопросы / Н. Л. Богданова // Фестиваль педагогических идей «Открытый урок» [Электронный ресурс]. URL: <http://festival.1september.ru/articles/599928/> (дата обращения: 20.01.2016).

Бондаренко Г. А. Менеджмент гостиниц и ресторанов : учеб. пособие / Г. А. Бондаренко. – М. : Новое знание, 2008. – 365 с.

Введение в эргономику / под ред. В. П. Зинченко. – М. : Совет. радио, 1974. – 349 с.

Галкин В. В. Экономика спорта и спортивный бизнес : учеб. пособие / В. В. Галкин. – Воронеж : ФГПУ, 2005. – 324 с.

Голубева Т. Б. Курс «Системный анализ» для будущих работников сервиса / Т. Б. Голубева // Экономика, социология, философия, политика,

право: направления развития, совершенствования, созидания : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 1. – Саратов : ИЦ «Наука», 2013. – С. 166–168.

Голубева Т. Б. Основы экологической культуры // Культура безопасности жизни : учеб. пособие / под общ. ред. Е. Ф. Лысюка. – Екатеринбург : ГУ ГЗПБ Свердлов. обл., 2008. – С. 39–59.

Голубева Т. Б. Педагогам о процессе подготовки научной публикации : учеб. пособие / Т. Б. Голубева. – Екатеринбург : РИО УГЛТУ, 2011. – 66 с.

Голубков Е. П. Системный анализ как методологическая основа принятия решений / Е. П. Голубков // Менеджмент в России и за рубежом. – 2003. – № 1–4.

Гордеева А. Г. Новый поворот... что он нам несет? Движение покупательского потока в торговом зале: анализ, приемы оптимизации / А. Г. Гордеева // Управление магазином [Электронный ресурс]. URL: <http://www.src-master.ru/article27196.html> (дата обращения: 10.06.2017).

Горелик О. М. Системный анализ в сфере сервиса : учеб. пособие / О. М. Горелик, С. Б. Волохин. – Тольятти : ПТИС, 2000. – 140 с.

Горелик О. М. Производственный менеджмент: принятие и реализация управленческих решений : учеб. пособие / О. М. Горелик. – М. : КНОРУС, 2007. – 272 с.

Гордецкая Н. В. Развитие системного мышления студентов вуза с использованием информационных и коммуникационных технологий : автореф. дис. ... канд. пед. наук. – Екатеринбург, 2004. – 16 с.

ГОСТ Р 50681- 2010. Туристские услуги. Проектирование туристских услуг.

ГОСТ Р 50646-2012. Услуги населению. Термины и определения.

Гурова А. С. Развитие системного мышления в процессе подготовки магистров сервиса / А. С. Гурова, Т. Б. Голубева // Студенческий научный форум-2016 : VIII Междунар. студ. электрон. науч. конф. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2016/1723/22743> (дата обращения: 20.03.2016).

Денисова О. Ловушки для покупателей в торговых центрах: как нас подталкивают к совершению покупок / О. Денисова [Электронный ресурс]. URL: https://realty.mail.ru/articles/17778/hitrosti_dlja_pokupatelej_v_torgovyh_centrah/ (дата обращения: 20.01.2016).

Дернер Д. Логика неудачи: Стратегическое мышление в сложных ситуациях / Д. Дернер ; пер. с нем. – М. : Смысл, 1997. – 243 с.

Доусон Р. Уверенно принимать решения: Как научиться принимать правильные решения в бизнесе и жизни: Программа действий на 21 день / Р. Доусон. – М. : Культура и спорт ; ЮНИТИ, 1996. – 255 с.

Друкер П. Управление, нацеленное на результат / П. Друкер. – М. : Технол. шк. бизнеса, 1994. – 191 с.

Друкер П. Эффективное управление: экономические задачи и оптимальные решения / П. Друкер. – М. : Фаир-Пресс, 1998. – 285 с.

Емельянов А. А. Имитационное моделирование экономических процессов : учеб. пособие / под ред. А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 368 с.

Ерохина Л. И. Предприятия в сфере сервиса. Управление прогнозируемыми процессами (теория и практика) : учеб. пособие / Л. И. Ерохина, Е. В. Башмачникова. – М. : Флинта ; МПСИ, 2005. – 248 с.

Зинченко В. П. Основы эргономики : учеб. пособие / В. П. Зинченко, В. М. Мунипов. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1979. – 342 с.

Ильина Е. Н. Туроперейтинг: организация деятельности : учебник / Е. Н. Ильина. – М. : Финансы и статистика, 2005. – 480 с.

Инженерная экология и экологический менеджмент : учебник / М. В. Буторина, П. В. Воробьев, А. П. Дмитриева ; под ред. Н. И. Иванова, И. М. Фадына. – М. : Логос, 2003. – 528 с.

Исмагилова А. А. Об оптимизации работы кинотеатров / А. А. Исмагилова, Т. Б. Голубева // Студенческий научный форум-2015 : VII Междунар. студ. электрон. конф. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1167/13057> (дата обращения: 20.01.2016).

Карнаухова В. К. Сервисная деятельность : учеб. пособие / В. К. Карнаухова, Т. А. Краковская. – Ростов н/Д : МарТ, 2006. – 256 с.

Карнаухова В. К. Системный анализ : учеб. пособие / В. К. Карнаухова, В. Н. Сенаторов, Т. И. Сидоровская. – Иркутск : ИГУ, 2005. – 94 с.

Климов Г. П. Теория массового обслуживания / Г. П. Климов. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 2011. – 307 с.

Кобелев Н. Б. Имитационное моделирование : учеб. пособие / Н. Б. Кобелев, В. А. Половников, В. В. Девятков ; под общ. ред. Н. Б. Кобелева. – М. : КУРС ; ИНФРА-М, 2013. – 361 с.

Кобелев Н. Б. Методы оптимального управления отраслью обслуживания населения / Н. Б. Кобелев. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 232 с.

Кодин В. Н. Как работать над управленческим решением. Системный подход : учеб. пособие / В. Н. Кодин, С. В. Литягина. – М. : КНОРУС, 2008. – 189 с.

Козлов А. С. Проектирование и исследование бизнес-процессов : учеб. пособие / А. С. Козлов. – М. : Флинта, 2011. – 272 с.

Козлов В. Н. Системный анализ и принятие решений : учеб. пособие / В. Н. Козлов. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2008. – 220 с.

Козлов Н. И. Жизнь удалась! Как успевать полноценно жить и работать / Н. И. Козлов. – М. ; Владимир : АСТ ; Астрель ВКТ, 2010. – 156 с.

Компании Екатеринбурга переводят сотрудников на удаленную работу, 06.11.2014 [Электронный ресурс]. URL: http://www.e1.ru/news/spool/news_id-414078.html (дата обращения: 06.11.2014).

Кулешова О. В. Использование метода кругов Эйлера (диаграмм Эйлера – Венна) при решении задач в курсе информатики и ИКТ / О. В. Кулешова // Фестиваль педагогических идей «Открытый урок» [Электронный ресурс]. URL: <http://festival.1september.ru/articles/632635/> (дата обращения: 10.06.2017).

Лабскер Л. Г. Теория массового обслуживания в экономической сфере : учеб. пособие для вузов / Л. Г. Лабскер, Л. О. Бабешко. – М. : Банки и биржи ; ЮНИТИ, 1998. – 319 с.

Мазалов В. В. Переговоры. Математическая теория / В. В. Мазалов, А. Э. Менчер, Ю. С. Токарева. – СПб. : Лань, 2012. – 302 с.

Маркам Д. Деловое мышление. Правила, позволяющие принимать безошибочные решения – сразу и по любым вопросам! / Д. Маркам, С. Смит, М. Кхалса ; пер. с англ. – М. : Олимп-Бизнес, 2004. – 272 с.

Международный стандарт ISO 9001:2000. Системы менеджмента качества. Требования.

Международный стандарт ISO 9004-2. Административное управление качеством и элементы системы качества. Ч. 2: Руководящие указания по услугам. Регистрационный номер ISO 9004-2:1991.

Мескон М. Основы менеджмента. Гл. 8. Модели и методы принятия решений / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури [Электронный ресурс]. URL: http://tourlib.net/books_men/meskon08.htm (дата обращения: 20.01.2016).

Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов. – М. : Логос, 2001. – 356 с.

Наумов А. А. Управление экономическими системами. Процессный подход / А. А. Наумов, М. А. Максимов. – Новосибирск : ОФСЕТ, 2008. – 300 с.

О'Коннор М. И. Искусство системного мышления: необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / М. И. О'Коннор. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 256 с.

Орлов А. И. Теория принятия решений : учебник / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2006. – 573 с.

Парыгин А. В. Оптимизация продаж билетов в клубах Российской футбольной Премьер-Лиги / А. В. Парыгин // Студенческий научный форум-

2015 : VII Междунар. студ. электрон. конф. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1168/13065> (дата обращения: 20.01.2016).

Плотинский Ю. М. Модели социальных процессов : учеб. пособие / Ю. М. Плотинский. – М. : Логос, 2001. – 296 с.

Практикум по инженерной психологии и эргономике : учеб. пособие / С. К. Сергиенко, В. А. Бодров, Ю. Э. Писаренко и др. – М. : Academia, 2003. – 398 с.

Проектирование и моделирование бизнес-процессов : учеб. пособие / сост. А. А. Орел, О. М. Ромакина. – Саратов : Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского, 2008. – 56 с.

Прокопенко А. П. Проблемы повышения качества обслуживания клиентов в туроператорской деятельности / А. П. Прокопенко // Студенческий научный форум-2016 : VIII Междунар. студ. электрон. конф. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2016/1723/20292> (дата обращения: 20.01.2016).

Репин В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М. : Стандарты и качество, 2009. – 408 с.

Романова О. С. Современные модели управления компанией / О. С. Романова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. – № 6.

Рунге В. Ф. Эргономика в дизайне среды : учеб. пособие / В. Ф. Рунге. – М. : Архитектура-С, 2009. – 327 с.

Рыбаков М. Ю. Как навести порядок в своем бизнесе : практикум / М. Ю. Рыбаков. – М. : Икар, 2011. – 380 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.treko.ru/show_article_2225 (дата обращения: 20.01.2016).

Секреты мастеров. Аналитическое и системное мышление : практ. рекомендации. Ч. 2. Авторская программа консалтинговой фирмы Урал-Пермь [Электронный ресурс]. URL: <http://kf-up.ru/articles/sekretyi-masterov-analiticheskoe-i-sistemnoe-myishlenie-prakticheskie-rekomendatsii-chast-2/> (дата обращения: 20.01.2016).

Силич М. П. Моделирование и анализ бизнес-процессов : учеб. пособие / М. П. Силич, В. А. Силич. – Томск : ТУСУР, 2011. – 213 с.

Сорина Г. В. Принятие решений как интеллектуальная деятельность : монография / Г. В. Сорина. – М. : Гардарики, 2005. – 255 с.

Спицнадель В. Н. Основы системного анализа : учеб. пособие / В. Н. Спицнадель. – СПб. : Изд. дом «Бизнес-Пресса», 2000. – 326 с.

Спицнадель В. Н. Теория и практика принятия оптимальных решений : учеб. пособие / В. Н. Спицнадель. – СПб. : Бизнес-пресса, 2002. – 395 с.

Стеняев В. М. Проектирование объектов бытового обслуживания на основе применения экономико-математических методов / В. М. Стеняев, Ю. А. Сушков. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. – 160 с.

Стерлюхин А. И. Система знаний о методе моделирования как элемент структуры профессиональной подготовки будущих преподавателей физики / А. И. Стерлюхин, Н. И. Старцева, В. А. Федеров // *Вестн. ТГУ*. 2010. № 6. Т. 15.

Суворова Я. В. Оптимизация потоков посетителей на крупномасштабных мероприятиях / Я. В. Суворова // *Студенческий научный форум-2015 : VII Междунар. студ. электрон. конф. [Электронный ресурс]*. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1167/13059> (дата обращения: 20.01.2016).

Теслинов А. Г. Концептуальное мышление в разрешении сложных и запутанных проблем / А. Г. Теслинов. – СПб. : Питер, 2009. – 286 с.

Учимся решать логические задачи : [сайт]. URL: http://logika.vobrazovanie.ru/index.php?link=kr_e.html (дата обращения: 10.06.2017).

Фаткуллина Р. Р. Основы системного анализа технологических объектов в сфере сервиса : учеб. пособие / Р. Р. Фаткуллина, Л. Н. Абуталипова. – Казань : Казан. нац. исслед. технол. ун-т. 2013. – 101 с.

Харрингтон Дж. Оптимизация бизнес-процессов: документирование, анализ, управление, оптимизация / Дж. Харрингтон, Э. К. С. Эсселинг, Х. Ван Нимвеген. – СПб. : БМикро ; Азбука, 2002. – 317 с.

Хильб М. Интегрированный менеджмент персонала. Цели – стратегии – инструменты / М. Хильб. – М. : Дело и Сервис, 2006. – 256 с.

Штоф В. А. Моделирование и философия / В. А. Штофф. – М. ; Л. : Наука, 1966. – 300 с.

Эргономика : учеб. пособие / под ред. В. В. Адамчука. – М. : ЮНИТИ-Дана, 1999. – 254 с.

Экономика и оптимизация меню // Центр технологий общественного питания [Электронный ресурс]. URL: <http://foodrussia.net/restoran/ekonomika-i-optimizatsiya-menu/> (дата обращения: 20.01.2016).

ПРИМЕР СТАНДАРТА ОБСЛУЖИВАНИЯ

**Стандарт обслуживания клиента менеджером
с выездом на дом**

№ п/п	Что	Как	Почему
1	Приветствие клиента	Не допускается опаздывать на встречу с клиентом, приходить раньше чем за пять минут до назначенного времени. В случае, если вы пришли, но клиент занят, покажите ему, что вы пришли, и подождите его, не привлекая к себе внимания. Вы должны опрятно выглядеть, соблюдать личную гигиену, у вас должна быть визитка с указанием своего имени, контактов, при себе следует иметь паспорт, удостоверение, что вы являетесь менеджером турфирмы, планшет/ноутбук, рекламные буклеты/альбомы, терминал. Поздоровайтесь в соответствии со временем суток, назовите турфирму, имя: «Доброе утро (день, вечер). Турфирма "...". Имя». Не допускается проходить по помещениям, куда Вас не приглашали, и внимательно осматривать комнату клиента, будьте сдержанными	Установление контакта с клиентом. Выяснение потребности клиента
2	Установление мотивации выбора турпродукта у клиента	Спросите, какой вид отдыха клиент предпочитает, какие цены его устраивают. При наличии желания клиента покажите рекламные альбомы с полной информацией о курортах, иллюстрированные каталоги отелей и вилл	Для предупреждения ошибок при дальнейшей работе

Продолжение таблицы

№ п/п	Что	Как	Почему
3	Предложение тура клиенту	Предоставьте информацию об условиях размещения в отелях и виллах, инфраструктуре отеля; авиаперелете и авиакомпании-перевозчике; трансфере и сопровождении; организации питания	Для предупреждения конфликтных ситуаций и увеличения продаж дополнительных услуг
4	Информирование клиента о выбранном туре	Сообщите клиенту полную информацию об услугах, включенных в стоимость турпакета; типе питания, пользовании бассейном и джакузи и др. Предложите ознакомиться с дополнительными услугами и тарифами на эти услуги, об организации авиаперелета, нормах провоза багажа и ручной клади, об VIP-зале в аэропортах, какие услуги входят; о трансфере, виде транспорта, о том, нуждается ли клиент в сопровождении гида-трансфермена	Для предупреждения конфликтных ситуаций, недоразумений и увеличения продаж дополнительных услуг
5	Бронирование тура для клиента	Спросите клиента, желает ли он забронировать тур на ... (назвать дату), на ... день? Какой авиакомпании он предпочитает лететь? Устроит ли его рейс на ... число и ... время вылета, дата ... и ... время прилета? Получив подтверждение, попросите адрес и контактный телефон (факс) клиента, номер его паспорта и т. д. Повторите информацию	Для устранения дальнейших недоразумений
6	Сбор необходимых документов для заключения договора с клиентом	Скажите клиенту, что для оформления визы необходим пакет документов, который Вы можете отправить через курьера или принести в его офис. Дайте клиенту вашу визитку	Для получения подтверждения удовлетворения клиента

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы

№ п/п	Что	Как	Почему
7	Прощание с клиентом	Вежливо попрощайтесь с клиентом, если у него возникнут какие-либо вопросы о туре, он может позвонить вам или другому менеджеру вашей фирмы и проконсультироваться. Он получит ответы на все свои вопросы. Предупредите его, что позвоните ему, когда будут готовы документы. Поблагодарите клиента, что он воспользовался услугами вашей компании. Пожелайте ему всего доброго, попрощайтесь с ним	Для получения подтверждения удовлетворенности клиента

КРУГИ ЭЙЛЕРА

Модель устойчивого развития



ПРИМЕР ПРОГРАММЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТУРИСТОВ**Программа тура выходного дня
«Екатеринбург – ГЛЦ “Гора Ежовая”»**

Время	Мероприятие
	<i>Первый день – суббота</i>
10:00	Отправление из Екатеринбурга, от Театра эстрады
12:00	Прибытие в Кировград, экскурсия в музее Висимского заповедника
14:00	Прибытие в ГЛЦ «Гора Ежовая» и размещение в гостинице «Седьмая поляна»
14:30	Обед в ресторане «Орлиное гнездо»
15:00	Катание на лыжах
20:00	Ужин в отеле «Седьмая поляна»
21:00	Свободное время (баня, сауна и др. – по желанию туриста)
	<i>Второй день – воскресенье</i>
9:00	Завтрак в отеле «Седьмая поляна»
10:00	Катание на лыжах
13:00	Обед в ресторане «Орлиное гнездо»
14:00	Катание на лыжах
17:00	Полдник в отеле «Седьмая поляна»
18:00	Отправление в Екатеринбург
20:00	Прибытие в Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Основы системного анализа	4
1.1. Бизнес-процесс и его составляющие. Классификация бизнес-процессов	4
1.2. Системы сервиса	7
1.3. Системы массового обслуживания	10
1.4. Понятия «элемент», «связь», «классификация»	12
1.5. Система и среда	15
1.6. Цели системы	18
1.7. Структура системы	20
1.8. Программа развития	24
1.9. Системный анализ и системный подход к решению проблем	26
1.10. Системное мышление	34
<i>Вопросы к разделу 1</i>	38
2. Модели процессов и систем сервиса. Оптимизация	43
2.1. Модель и моделирование	43
2.2. Особенности моделирования сервисной деятельности	49
2.3. Текстовые модели в сервисе	52
2.4. Модели-схемы процессов и систем сервиса	57
<i>Вопросы к разделу 2</i>	63
3. Оптимизация работы предприятия сферы сервиса	65
3.1. Математические модели сервисной деятельности. Оптимизация	65
3.2. Оптимизация бизнес-процессов предприятия сферы сервиса	75
3.3. Эргономика на предприятиях сервиса	83
<i>Вопросы к разделу 3</i>	95
Список рекомендуемой литературы	96
Приложение 1. Пример стандарта обслуживания	102
Приложение 2. Круги Эйлера	105
Приложение 3. Пример программы обслуживания туристов	106

Учебное издание

Голубева Татьяна Брониславовна

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ СЕРВИСА

Учебное пособие

Заведующий редакцией *М. А. Овечкина*
Редактор *В. И. Попова*
Корректор *В. И. Попова*
Компьютерная верстка *Г. Б. Головина*

Подписано в печать 26.07.17. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Уч.-изд. л. 5,6. Усл. печ. л. 6,28. Тираж 50 экз. Заказ 194.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 389-94-79, 350-43-28
E-mail: rio.marina.ovechkina@mail.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>

Министерство науки и образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»



М. Л. Хазин

ДИАГНОСТИКА И НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Методические указания
по самостоятельной работе

Екатеринбург - 2018

УДК 621(07)

Составитель: М. Л. Хазин

Диагностика и надежность автоматизированных систем: Методические указания по самостоятельной работе [Текст] / сост. М. Л. Хазин. ФГБОУ ВО «Урал. гос. горный ун-т».- Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 40 с.

В методических указаниях рассмотрен ряд основных вопросов, изучаемых в рамках дисциплины «Диагностика и надежность автоматизированных систем», примеры расчетов количественных показателей надежности систем. В них включены одиннадцать практических работ по темам курса. Каждая работа сопровождается теоретическим материалом, примерами расчета и индивидуальными заданиями.

Для студентов, изучающих дисциплину «Диагностика и надёжность автоматизированных систем» направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств.

ФГБОУ ВО «Урал. гос. горный ун-т».- Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 40 с.

Введение

Надежность является одним из важнейших показателей современной техники. Чтобы создать автоматизированную систему, удовлетворяющую требованиям надежности, необходимо уметь рассчитать ее надежность в процессе проектирования и обеспечить ее при технической реализации.

Целью освоения учебной дисциплины «Диагностика и надежность автоматизированных систем» является формирование у студентов прочных знаний по основным положениям теории надежности и диагностики автоматизированных систем.

В ходе освоения дисциплины студент готовится к выполнению следующих профессиональных задач:

проектно-конструкторская деятельность:

- участие в мероприятиях по разработке функциональной, логистической и технической организации автоматизации технологических процессов и производств (отрасли), автоматических и автоматизированных систем контроля, диагностики, испытаний и управления, их технического, алгоритмического и программного обеспечения на основе современных методов, средств и технологий проектирования;

- участие в расчетах и проектировании средств и систем контроля, диагностики, испытаний элементов средств автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;

- выбор средств автоматизации процессов и производств, аппаратно-программных средств для автоматических и автоматизированных систем управления, контроля, диагностики, испытаний и управления;

производственно-технологическая деятельность:

- участие в работах по практическому техническому оснащению рабочих мест, размещению основного и вспомогательного оборудования, средств автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний;

- участие в работах по практическому внедрению на производстве современных методов и средств автоматизации, контроля, измерений, диагностики, испытаний и управления изготовлением продукции,

- организация на производстве рабочих мест, их технического оснащения, размещения технологического оборудования, средств автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний;

- практическое освоение современных методов автоматизации, контроля, измерений, диагностики, испытаний и управления процессом изготовления продукции, ее жизненным циклом и качеством.

Результатом освоения дисциплины «Диагностика и надежность автоматизированных систем» является формирование у обучающихся следующих компетенций:

общекультурных

- способностью к самоорганизации и самовыражению (ОК-5);

профессиональных

- способностью собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования (ПК-1);

- способностью проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа (ПК-6).

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- математический аппарат теории надежности;
- основные показатели надежности и методики их определения;
- методы технической диагностики.

Уметь:

- анализировать современные автоматизированные системы на всех стадиях их жизненного цикла;
- рассчитывать основные показатели надежности автоматизированных систем;
- проводить техническую диагностику автоматизированных систем;
- организовать процесс изучения дисциплины.

Владеть:

- навыками использования технической и справочной литературы;
- навыками организации процесса изучения дисциплины;
- навыками проведения оценки надежности по результатам эксплуатационных данных или испытаний автоматизированных систем;
- навыками применения методик технической диагностики автоматизированных систем.

Изложение учебного материала сопровождается контрольными вопросами после каждой главы.

Данные методические указания позволят студентам усвоить основные положения структурно - логического расчета надежности сложных технических устройств, а также приобрести навыки решения задач надежности.

1. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

1.1. Методические указания

Количественные показатели надежности бывают статистические и вероятностные. Следует уяснить эту различие при проведении расчетов. Показатели надежности бывают единичные и комплексные. Следует обратить на это внимание.

1.2. Краткие теоретические сведения

Плотность распределения наработки до отказа. Нарботка до отказа T как случайная величина описывается интегральной функцией распределения $F(t)$.

Вероятность безотказной работы (ВБР) – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ системы не возникнет, т. е. это вероятность того, что отказ не наступит в интервале $(0, t_1)$.

Статистическое выражение функции надежности

$$P^*(t) = 1 - F^*(t) = [N_0 - n(t)]/N_0 = 1 - n(t)/N_0. \quad (1.2)$$

На практике часто бывает удобнее использовать функцию *вероятности отказа* $Q(t)$. При фиксированном значении времени $t_1 = t$:

Статистическое выражение вероятности отказа

$$Q^*(t) = F^*(t) = 1 - P^*(t) = n(t)/N_0. \quad (1.2)$$

Поскольку безотказная работа и отказ являются событиями несовместимыми, то сумма их вероятностей равна единице:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (1.3)$$

Частота отказов $f(t)$ или плотность вероятности времени работы системы до первого отказа. Поскольку функция $F(t)$ непрерывна, то существует непрерывная плотность распределения наработки до отказа:

$$f(t) = dF(t)/dt = F'(t) = Q'(t) = -P'(t). \quad (1.4)$$

Статистическое выражение частоты отказов

$$f^*(t) = n(\Delta t)/N_0 \Delta t. \quad (1.5)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – условная плотность вероятности возникновения отказов системы в момент t при условии, что до этого момента отказы не возникали.

$$\lambda(t) = -\frac{d[1-F(t)]}{dt} \cdot \frac{1}{P(t)} = \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{P'(t)}{P(t)}. \quad (1.6)$$

отсюда

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (1.7)$$

Статистическое выражение интенсивности отказов

$$\lambda^*(t) = n(\Delta t) / N_{\text{ср}} \Delta t, \quad (1.8)$$

где $N_{\text{ср}} = (N_i + N_{i+1}) / 2$;

$N_{\text{ср}}$ – число систем, исправно работающих в интервале Δt ; N_i и N_{i+1} – число систем, исправно работающих в начале и в конце интервала Δt соответственно.

Средняя наработка до отказа ($T_{\text{ср}}$) – математическое ожидание времени безотказной работы (случайной величины T):

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} t dF(t) = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (1.9)$$

Отсюда следует, что средняя наработка до отказа геометрически равна площади под кривой $P(t)$ (см. рис. 2.1).

Статистическое выражение средней наработки до отказа

$$T_{\text{ср}}^* = \frac{1}{N_o} \sum_{i=1}^{N_o} t_i = \frac{1}{N_o} \sum_{i=1}^m n_i t_i, \quad (1.10)$$

где $t_i = 0,5(t_{i-1} + t_i) = m$ – число временных интервалов; n_i – количество систем, отказавших в i -м интервале времени Δt .

Для восстанавливаемых систем используется *средняя наработка на отказ* T_o :

$$T_o = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad i = 1, 2 \dots \quad (1.11)$$

Статистическое определение средней наработки на отказ:

$$T_o^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1.12)$$

где t_i – время исправной работы восстанавливаемой системы между i -м и $(i + 1)$ -м отказами; n – число отказов за время t . Если рассматривается m систем, то

$$T_o^* = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}}{\sum_{j=1}^m n_j} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} t_i \right), \quad (1.13)$$

где n_j – число отказов j -й системы, t_{ij} – время безотказной работы j -й системы между i -м и $(i+1)$ -м отказами.

Коэффициент готовности K_Γ – вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени (t_x) в установившемся периоде эксплуатации:

$$K_\Gamma = t_{pc} / (t_{pc} + t_{bc}) = T_o / (T_o + T_b), \quad (1.14)$$

где t_{pc} – суммарное время нахождения системы в работоспособном состоянии ($t_{pc} = T_o \cdot n$); t_{bc} – суммарное время восстановления системы ($t_{bc} = T_b \cdot n$); n – число отказов системы в заданный интервал времени.

Статистическое определение:

$$K_\Gamma^* = N_p(t_x) / N, \quad (1.15)$$

где N – число одинаковых восстанавливаемых систем; $N_p(t_x)$ – число систем, находящихся в работоспособном состоянии в произвольный, достаточно удаленный от начала испытаний (эксплуатации) момент времени t_x .

Коэффициент простоя K_Π – вероятность того, что система окажется неработоспособной в произвольно выбранный момент времени (t_x) в установившемся периоде эксплуатации. Поскольку события простоя и готовности являются несовместимыми, то

$$K_\Gamma + K_{ог} = 1. \quad (1.16)$$

Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ – вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени (t_x) в установившемся периоде эксплуатации и что начиная с этого момента система проработает безотказно в течение заданного интервала времени t :

$$K_{ог}(t) = \frac{t_{pc}}{t_{pc} + t_{bc}} P(t_x, t) = K_\Gamma P(t_x, t), \quad (1.17)$$

где $P(t_x, t)$ – условная вероятность безотказной работы системы на интервале ($t_x, t_x + t$) при условии, что в момент t_x система была работоспособна.

1.3. Типовые примеры и их решения

Пример 1.1. Определить среднюю наработку до отказа по результатам испытаний 8 невосстанавливаемых систем. Нарботка до отказа каждой системы приведена ниже:

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
12300	7600	14100	2900	9300	8500	10600	13100

Решение. Согласно (1.5) средняя наработка до отказа

$$T_{\text{ср}} = (12300 + 7600 + 14100 + 2900 + 9300 + 8500 + 10600 + 13100)/8 = 9800 \text{ ч}$$

Пример 1.2. Пусть испытывалось $N_0 = 100$ невосстанавливаемых систем. К моменту $t_1=7500$ ч число отказавших систем $n(t_1)=10$, к моменту $t_2=8000$ ч - $n(t_2) = 11$, к моменту $t_3 = 8500$ ч - $n(t_3) = 13$.

Найти вероятность безотказной работы $P(t_2)$, вероятность отказов $Q(t_2)$, плотность распределения $f(t_2)$ и интенсивность отказов $\lambda(t_2)$ для $t_2=8000$ ч, причем для определения $f(t_2)$ и $\lambda(t_2)$ рассмотреть интервал времени ($t_1= \Delta t/2$; $t_3=t_2+ \Delta t/2$), где $\Delta t= t_3 - t_1$ длина этого интервала, а момент t_2 расположен посередине него.

Решение. Согласно (1.1) и (1.2)

$$Q(8000) = n(8000)/N_0 = 11/100 = 0,11 \quad ,$$

$$P(8000) = [N_0 - n(8000)]/N_0 = (100 - 11)/100 = 0,89 \quad .$$

Согласно (1.5)

$$f(8000) = [n(8500) - n(7500)]/(N_0 \Delta t) = 13 - 10/(100 \cdot 1000) = 3 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \quad .$$

Согласно (1.4)

$$\begin{aligned} \lambda(8000) &= [n(8500) - n(7500)]/[N_0 - n(8000)] \Delta t = \\ &= (13 - 10)/[100 - 11] \cdot 1000 = 3,37 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \end{aligned}$$

или

$$P(8000) = 1 - Q(8000) = 1 - 0,11 = 0,89 \quad .$$

1.4. Задачи

1.1. На испытание поставлено 1000 однотипных ЦАП. За 3000 ч отказало 80 изделий. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа ЦАП в течение 3000 ч.

Ответ: $P^*(3000) = 0,92$; $Q^*(3000) = 0,08$.

1.2. На испытание поставлено 1000 однотипных транзисторов. За первые 3000 ч отказало 80 транзисторов, а за интервал времени 3000 - 4000 ч отказало еще 50. Требуется определить частоту и интенсивность отказов транзисторов на интервале 3000 - 4000 ч.

Ответ: $f^*(3500) = 5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda^*(3500) = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

1.3. На испытание поставлено 400 диодов. За время $t=3000$ ч отказало $n(t)=200$ диодов, за интервал времени $\Delta t=100$ ч отказало $n(\Delta t)=100$ изделий. Определить $P^*(3000)$, $P^*(3100)$, $P^*(3050)$, $f^*(3050)$, $\lambda^*(3050)$.

1.4. За период наблюдения за системой управления технологического процесса было зарегистрировано 15 отказов. До начала наблюдения система проработала 258 ч, к концу наблюдения наработка системы составила 1233 ч. Определить среднюю наработку на отказ.

Ответ: $T_o = 65$ ч.

1.5. Система состоит из 5 приборов, причем отказ любого из них ведет к отказу системы. Известно, что первый прибор отказал 34 раза в течение 952 ч работы, второй - 24 раза в течение 960 ч работы, а остальные в течение 210 ч работы отказали 4, 6 и 5 раз соответственно. Определить наработку на отказ системы в целом, если определив экспоненциальный закон надежности.

Ответ: $T^*_o = 7,57$ ч.

1.6. Аппаратура имела среднюю наработку на отказ $T_o=65$ ч и среднее время восстановления $T_B=1,25$. Определить коэффициент готовности.

Ответ: $K_T = 0,98$.

1.7. Время работы блока системы управления подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda=2,5 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹. Вычислить количественные характеристики надежности блока $P(t)$, $a(t)$, T_{cp} , если $t=500$, 1000 и 2000 ч.

Ответ: $P(500) = 0,9875$; $P(1000) = 0,9753$; $P(2000) = 0,9512$.

$f(500) = 2,469 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹; $f(1000) = 2,439 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹; $f(2000) = 2,378 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹.

$T_{cp} = 40000$ ч.

1.8. Вероятность безотказной работы автоматической линии управления изготовления цилиндров автомобильного двигателя в течение 120 ч равна 0,9. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить интенсивность и частоту отказов линии для момента времени 120 ч.

Ответ: $\lambda = 0,83 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹; $f(120) = 0,747 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹; $T_{cp} = 1200$ ч.

1.9. Интенсивность отказов λ_c сложной восстанавливаемой системы есть величина постоянная и равная 0,015 ч⁻¹. Среднее время восстановления $T_B=100$ ч. Определить вероятность застать систему в исправном состоянии в момент времени 10 ч.

Ответ: $K_T(10) = 0,867$.

1.10. Коэффициент готовности сложного восстанавливаемого изделия $K_T=0,9$. Среднее время восстановления $T_B=100$ ч. Определить вероятность застать систему в исправном состоянии в момент времени $t=12$ ч.

Ответ: $K_T(12) = 0,987$.

1.11. Средняя наработка до первого отказа автоматической системы управления равна 640 ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный

закон надежности. Определить вероятность безотказной работы в течение 120 ч, частоту отказов для момента времени 120 ч и интенсивность отказов.

Ответ: $P(120) = 0,83$; $f(120) = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды показателей надежности используются в промышленности?
2. Чем отличаются единичные и комплексные показатели?
3. Дайте вероятностные и статистические определения показателей надежности невосстанавливаемых систем.
4. Назовите области применения основных законов распределения наработки до отказа.
5. Дайте вероятностные и статистические определения показателей надежности восстанавливаемых систем.
6. В чем отличие коэффициентов готовности и оперативной готовности?
7. Как изменяется интенсивность отказов во времени?
8. Назовите основные принципы выбора показателей надежности.
9. Что такое параметр потока отказов?
10. Чему равна сумма вероятностей отказа и безотказной работы и почему?

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ

2.1. Методические указания

Математическая модель объекта – это система математических элементов (переменных, уравнений, неравенств, множеств, матриц и т. д.) и отношений между ними, адекватно отражающая некоторые свойства объекта. Математическая модель необходима для прогнозирования надежности объекта. Следует обратить внимание, для внезапных и постепенных отказов применяются разные математические модели.

2.2. Краткие теоретические сведения

2.2.1. Математические модели внезапных отказов

Экспоненциальное распределение. Интегральная функция распределения имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

где λ – параметр этого распределения.

Это однопараметрическое распределение с параметром λ – интенсивность отказов. Тогда вероятность отказа, вероятность безотказной работы и плотность распределения (частота отказов) можно определить:

$$\begin{aligned} Q(t) &= 1 - e^{-\lambda t}; \\ P(t) &= e^{-\lambda t} \quad ; \\ f(t) &= \lambda \cdot e^{-\lambda t} . \end{aligned} \quad (2.2)$$

Средняя наработка до отказа согласно

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda . \quad (1.3)$$

Из выражения (2.10) следует, что интенсивность отказов

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} / e^{-\lambda t} = \lambda , \quad (1.4)$$

т. е. является постоянной величиной.

Экспоненциальное распределение хорошо описывает время безотказной работы сложных систем, состоящих из большого числа разнородных элементов, а также электронной аппаратуры и, в частности, автоматизированных систем.

Геометрическое распределение используется в случаях, когда время жизненного цикла изделия отсчитывается дискретными единицами, например числом пусков, коммутаций, отключений и т. п. В этом случае интегральная функция распределения имеет вид

$$F(k) = 1 - (1 - q)^k , \quad (1.5)$$

где q – вероятность отказа элемента за одно срабатывание; k – число срабатываний.

Зная интегральную функцию, можно найти все показатели надежности системы: вероятность отказа, вероятность безотказной работы, частоту отказов, интенсивность отказов и среднюю наработку до отказа:

$$\begin{aligned} Q(k) &= 1 - (1 - q)^k ; \\ P(k) &= (1 - q)^k ; \\ f(k) &= q(1 - q)^k ; \\ \lambda(k) &= q; \\ T_{\text{ср}} &= (1 - q)/q \approx 1/q. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Для упрощения расчетов величину $(1 - q)^k$ можно разложить в ряд. Тогда $P(k) = (1 - q)^k \approx e^{-kq}$.

Следовательно, геометрическое распределение есть дискретный аналог экспоненциального распределения с параметром λ .

2.2.2. Математические модели постепенных отказов

Гамма-распределение. Это двухпараметрическое распределение с параметрами k и α . Интегральная функция гамма-распределения имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\alpha t)^i}{i!} . \quad (1.7)$$

Параметр $k = \begin{cases} > 1 \\ = 1 \\ < 1 \end{cases}$ характеризует асимметрию гамма-распределения и

определяет вид характеристик надежности. При $k > 1$ интенсивность отказов возрастает, при $k < 1$ убывает, а при $k = 1$ становится постоянной, т. е. гамма-распределение превращается в экспоненциальное. При увеличении k гамма-распределение будет приближаться к симметричному распределению, а интенсивность отказов будет иметь все более выраженный характер возрастающей функции времени.

Нормальное распределение случайной величины x возникает всякий раз, когда x зависит от большого числа однородных по своему влиянию случайных факторов, причем влияние каждого из этих факторов по сравнению с совокупностью всех остальных незначительно. Нормальное распределение, или распределение Гаусса, является наиболее универсальным, удобным и широко применяемым.

Это также двухпараметрическое распределение с параметрами σ и τ . При этом σ определяет разброс распределения (среднеквадратичное отклонение времени безотказной работы системы), а τ – центр группирования. Интегральная функция и плотность нормального распределения наработки до отказа соответственно:

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-(t-\tau)^2/(2\sigma^2)} dt; \quad (1.8)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(t-\tau)^2/(2\sigma^2)} .$$

Для практического применения распределения перейдем от случайной величины τ к случайной величине:

$$x = (t - \tau) / \sigma \quad (1.9)$$

и, соответственно, к нормированной функции нормального распределения (функции Лапласа), значения которой табулированы и приводятся в справочниках:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2} dx. \quad (3.11)$$

Функции $\Phi(x)$ и $F(t)$ связаны между собой соотношением

$$F(x) = \begin{cases} 0,5 + \Phi(x) & x \geq 0 \\ 0,5 - \Phi(|x|) & x \leq 0. \end{cases} \quad (1.10)$$

Показатели безотказности объекта через табличные значения $f(x)$ и $F(x)$ определяются по выражениям:

$$\begin{array}{ll} Q(t) = F(x); & Q(t) = 0,5 + \Phi(x); \\ P(t) = 1 - F(x); & P(t) = 0,5 - \Phi(x); \\ f(t) = f(x)/\sigma; & \text{или} \\ \lambda(t) = f(x)/\sigma[1 - F(x)]. & \lambda(t) = f(x)/\sigma[0,5 - \Phi(x)]. \end{array}$$

Характерный признак нормального распределения – монотонное возрастание интенсивности отказов с течением времени. Нормальное распределение существенно отличается от экспоненциального. Началом отсчета времени t в экспоненциальном распределении служит начало эксплуатации объекта, т. е. момент, когда начинается процесс износа и старения, а началом отсчета в нормальном распределении – момент времени, когда установлено, что изделие исправно (этот момент может быть расположен в любой точке на оси времени).

Распределение Вейбулла – двухпараметрическое распределение, где параметр k определяет вид плотности распределения, а параметр α – его масштаб, может быть применено для описания наработки до отказа ряда электронных и механических систем, включая период приработки:

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t^k}, \quad f(t) = \alpha k t^{k-1} e^{-\alpha t^k}. \quad (13.11)$$

Интенсивность отказов определяется по выражению

$$\lambda(t) = \alpha k t^{k-1}. \quad (1.12)$$

Параметр $k = \begin{cases} > 1 \\ = 1 \\ < 1 \end{cases}$ характеризует распределение Вейбулла и определяет вид

характеристик надежности. При $k = 1$ распределение Вейбулла совпадает с экспоненциальным, когда интенсивность отказов постоянна, при $k > 1$ интенсивность отказов монотонно возрастает, а при $k < 1$ – монотонно убывает. Следовательно, распределением Вейбулла с разными значения

параметра k можно описать весь жизненный цикл объекта, поэтому его также называют универсальной моделью отказов.

Средняя наработка до первого отказа определяется из следующего выражения:

$$T = \frac{\Gamma(1+1/k)}{\alpha^{1/k}}, \quad (1.13)$$

где $\Gamma(x)$ - гамма-функция, значения которой табулированы.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте понятие отказа.
2. Как формулируются критерии отказов?
3. Назовите основные методы повышения надежности АС.
4. Что такое дефект и чем он отличается от отказа и повреждения?
5. Назовите основные признаки классификации отказов.
6. Что такое сбой и чем он отличается от отказа?
7. Назовите основные причины отказа.
8. Чем постепенный отказ отличается от внезапного?
9. Назовите возможные способы декомпозиции АСУ.
10. Что такое авария?
11. Почему распределение Гаусса называется нормальным?
12. Поясните на кривой плотности распределения отказов влияние параметров распределения: математического ожидания и дисперсии.
13. Приведите расчетные выражения для показателей безотказности, определенные через табличные функции: $f(x)$, $F(x)$ и $\Phi(x)$?
14. Что такое случайное событие?
15. При каких условиях корректно использовать классическое нормальное распределение, а в каких случаях целесообразно применять усеченные нормальные распределения?
16. Что такое поток событий?
17. Какой закон распределения используют для описания устройств, время жизни которых определяется числом срабатываний?
18. Приведите расчетные выражения показателей безотказности для усеченного «слева» нормального распределения.
19. Что такое случайная величина?
20. В каких случаях для оценки надежности сложной системы на длительном участке ее эксплуатации следует использовать композицию законов распределения времени между отказами?

3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. Методические указания

Важно уяснить, какие соединения являются основными, а какие резервными. Следует обратить внимание на отличие в расчетах надежности последовательных и параллельных соединений элементов системы.

3.2. Краткие теоретические сведения

3.2.1. Последовательное (основное) соединение

Пусть имеется система из n последовательно соединенных элементов (рис. 3.1), а отказ каждого элемента есть событие случайное и независимое.

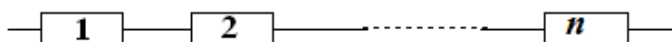


Рис. 3.1. Последовательное соединение элементов

Тогда вероятность безотказной работы (ВБР) системы $P_c(t)$ в течение времени t будет равна произведению ВБР элементов в течение того же времени:

$$P_c(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \dots \cdot p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (3.1)$$

В случае справедливости экспоненциального закона распределения для нормального периода эксплуатации выражения для количественных показателей надежности примут вид

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_c t) = \exp(-t/T_{cp.c}); \quad T_{cp.c} = 1/\lambda_c; \quad (3.2)$$

Последовательное соединение в структурной схеме не всегда совпадает с последовательным физическим соединением. Например, группа параллельно включенных конденсаторов на структурной схеме изображается как последовательное (основное) соединение.

4.3. Параллельное соединение

Пусть имеется система из n параллельно соединенных элементов, а отказ каждого элемента есть событие случайное и независимое (рис. 3.2).

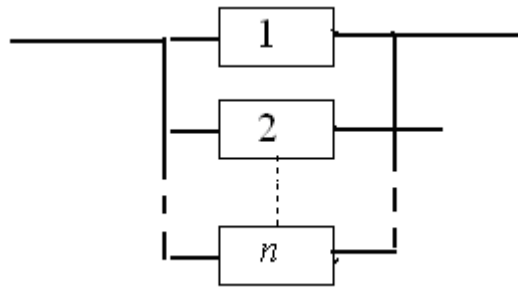


Рис. 3.2. Параллельное соединение элементов

При резервном (параллельном) соединении элементов удобнее рассчитывать отказ системы. Тогда вероятность отказа работы системы $Q_c(t)$ в течение времени t будет равна произведению вероятностей отказа элементов в течение того же времени. Поскольку вероятность отказа каждого из элементов $q_j(t) = 1 - p_j(t)$, то вероятность отказа системы

$$Q_c(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \cdot \dots \cdot q_n(t) = \prod_{j=1}^n q_j(t) , \quad (3.3)$$

а вероятность безотказной работы системы

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=1}^n [1 - p_j(t)] . \quad (3.4)$$

3.3. Типовые примеры и их решения

Пример 3.1. Система состоит из двух последовательно соединенных устройств. Вероятности безотказной работы (ВБР) каждого из них в течение времени $t = 100$ ч равны: $P_1(100) = 0,95$; $P_2(100) = 0,97$. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить среднюю наработку на отказ.

Решение:

$$T_{\text{ср.с}} = \frac{1}{\lambda_c} . \text{ Найдем ВБР системы: } P_c(t) = P_1(t)P_2(t) ,$$

$$P_c(100) = P_1(100)P_2(100) = 0,95 \cdot 0,97 = 0,92 . \quad P_c(t) = e^{-\lambda_c t} ;$$

$$P_c(100) = e^{-\lambda_c 100} ; \text{ отсюда } \lambda_c = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} \text{ и } T_{\text{ср.с}} = \frac{1}{0,83 \cdot 10^{-3}} = 1200 \text{ ч.}$$

Пример 3.2. ВБР системы в течение времени t равна $P_c(t) = 0,95$. Система состоит из 120 последовательно соединенных равнонадежных элементов. Определить ВБР элемента.

Решение: ВБР элемента будет $p_i(t) = \sqrt[120]{P_c(t)}$; т. к. $p(t)$ близка к единице, тогда

$$p(t) = \sqrt[N]{P_c(t)} = 1 - \frac{Q_c(t)}{N} = 1 = 1 - \frac{1 - P_c(t)}{N} = 1 - \frac{1 - 0,95}{120} \approx 0,9996 \text{ .}$$

Пример 3.3. Для повышения надежности усилителя все его элементы дублированы. Предполагается, что элементы подвержены лишь одному виду отказов и последствие отказов отсутствует. Определить ВБР усилителя в течение времени $t = 5000$ ч при следующем составе усилителя:

Таблица 3.1.

Исходные данные		
Элементы	Количество	Интенсивность отказа 10^{-5} ч^{-1}
Транзистор	1	2,16
Резистор	5	0,23
Конденсатор	3	0,32
Диод	1	0,78
Катушка индуктивности	1	0,09

Решение: Имеет место отдельное (поэлементное) резервирование с кратностью $m = 1$, число элементов нерезервированного усилителя $n = 11$. Тогда, согласно (4.10) и (4.11), получим

$$P_c(5000) = \prod_{i=1}^{11} \left\{ 1 - \left[1 - e^{-\lambda_i \cdot 5000} \right]^2 \right\} \text{ ,}$$

т.к. $\lambda_i \ll 1$, то показательную функцию можно разложить в ряд и ограничиться первыми двумя членами $1 - e^{-5000 \cdot \lambda_i} \cong 5000 \cdot \lambda_i$. Тогда,

$$\begin{aligned} P_c(5000) &\cong \prod_{i=1}^{11} \left[1 - (5000 \cdot \lambda_i)^2 \right] \cong 1 - \sum_{i=1}^{11} (5000 \cdot \lambda_i)^2 = 1 - 5000^2 \sum_{i=1}^{11} \lambda_i = \\ &= 1 - 25 \cdot 10^6 \left[2,16^2 + 5 \cdot 0,23^2 + 3 \cdot 0,32^2 + 0,78^2 + 0,09^2 \right] \cdot 10^{-10} \cong 0,985. \end{aligned}$$

3.4. Задачи

3.1. Система состоит из 12600 элементов, включенных последовательно, средняя интенсивность отказов которых $\lambda_{cp} = 0,32 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Определить ВБР системы в течение $t = 50$ ч и среднюю наработку на отказ.

Ответ: $P(50) = 0,82$, $T_{cp.c} = 250$ ч.

3.2. Система состоит из трех устройств, соединенных последовательно. Интенсивность отказа электронного устройства равна $\lambda_1 = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} = \text{const}$. Интенсивности отказов двух электромеханических устройств линейно зависят от времени $\lambda_2 = 0,23 \cdot 10^{-4} t \text{ ч}^{-1}$ и $\lambda_3 = 0,06 \cdot 10^{-6} t^{2,6} \text{ ч}^{-1}$. Определить ВБР системы в течение 100 ч.

Ответ: $P_c(100) \cong 0,33$.

3.3. Аппаратура состоит из $N = 11$ блоков, соединенных последовательно. Надежность блоков характеризуется ВБР в течение времени t , которая равна: $P_{1, 2, 3}(t) = 0,997$; $P_{4, 5, 6}(t) = 0,965$; $P_{7, 8, 9}(t) = 0,96$; $P_{10, 11}(t) = 0,995$. Определить ВБР аппаратуры.

Ответ: $P_c(t) = 0,78$.

3.4. ВБР преобразователя постоянного тока в переменный в течение $t = 1000$ ч равна $0,95$; т.е. $P(1000) = 0,95$. Для повышения надежности системы электроснабжения на предприятии имеется такой же преобразователь, который включается в работу при отказе первого. Определить ВБР и среднюю наработку до первого отказа системы, состоящей из двух преобразователей, и построить зависимости от времени для частоты $a_c(t)$ и интенсивности отказов $\lambda_c(t)$ системы.

Ответ: $T_{cp,c} = 40000$ ч; $P_c(t) = 0,9975$.

3.5. Схема устройства приведена на рис. 3.3. Предполагается, что последствия отказов отсутствуют и все элементы равнонадежны с интенсивностью отказа $\lambda = 1,35 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹. Определить наработку до первого отказа.

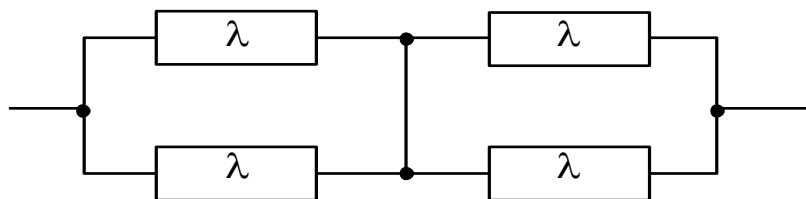


Рис. 3.3. Схема расчета надежности к задаче 4.5

Ответ: $T_{cp,c} = 680$ ч.

3.6. Схема устройства приведена на рис. 3.4. Интенсивности отказов элементов составляют: $\lambda_1 = 0,23 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹, $\lambda_2 = 0,5 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹; $\lambda_3 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹. Определить среднюю наработку до первого отказа и построить зависимость интенсивности отказов устройства от времени.

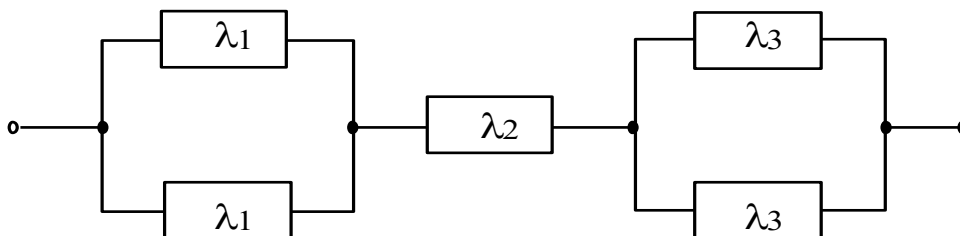


Рис. 3.4. Схема расчета надежности к задаче 4.6

Ответ: $T_{cp,c} \cong 2590$ ч.

3.7. Устройство шахтной связи имеет интенсивность отказов $\lambda_0 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹. Ее дублирует такое же устройство, находящееся до отказа основного в режиме ожидания (недогруженный резерв). В этом режиме

интенсивность отказа устройства $\lambda_1 = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определить ВБР работы устройства связи в течение $t = 100 \text{ ч}$, среднюю наработку до первого отказа и построить зависимость $\lambda_c(t)$.

Ответ: $P_c(100) = 0,998$; $T_{\text{ср.с}} = 4668 \text{ ч}$.

3.8. Управляющее вычислительное устройство (УВУ) состоит из 1024 однотипных ячеек и сконструировано так, что имеется возможность заменить любую ячейку из отказавших. В составе ЗИП имеется 3 ячейки, каждая из которых может заменить любую из отказавших. Определить вероятность и среднюю наработку до первого отказа УВУ в течение 10000 ч, если известно, что интенсивность отказов ячейки равна $0,12 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Под отказом будем понимать случай, когда весь ЗИП израсходован и отказала еще одна ячейка памяти.

Ответ: $T_{\text{ср.с}} = 32500 \text{ ч}$.

4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ

4.1. Методические указания

Обратите внимание, что все варианты расчета надежности невосстанавливаемых резервированных систем представляют собой расчеты последовательных и параллельных соединений, взятых в различных сочетаниях.

4.2. Краткие теоретические сведения

4.2.1. Общее резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью

Пусть имеется объект, состоящий из основной и m резервных систем. Каждая система состоит из n последовательно соединенных элементов (рис. 4.1). При этом основная система резервируется целиком еще m такими же системами.

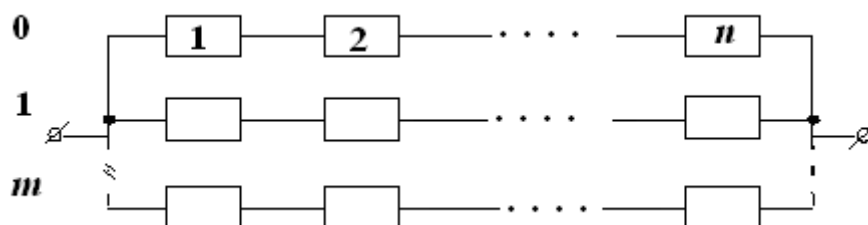


Рис. 4.1. Структурная схема системы с общим резервированием, постоянно включенным резервом и целой кратностью

Кратность резервирования системы:

$$k = \frac{h-r}{r} = \frac{(m+1)-1}{1} = m,$$

где $h = m + 1$ – общее число систем; $r = 1$ – число систем, необходимых для нормального функционирования.

Данную структурную схему можно преобразовать в схему из $(m+1)$ параллельно соединенных элементов, каждый из которых содержит свернутую цепочку из n последовательно соединенных элементов. Тогда на ВБР системы будет определяться формулой

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=1}^m q_j(t) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - p_j(t)].$$

Теперь учтем, что каждый элемент разворачивается в цепочку из n последовательно соединенных элементов и окончательно получим

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=0}^m \left[1 - \prod_{i=1}^n p_i(t) \right]. \quad (4.1)$$

Если справедлив экспоненциальный закон распределения, которому удовлетворительно подчиняется распределение времени между отказами электронных устройств в нормальный период эксплуатации, то

$$P_c(t) = 1 - [1 - \exp(-\lambda_0 t)]^{m+1}; \quad \lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (4.2)$$

Средняя наработка до отказа резервированной системы

$$T_{\text{ср.с}} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i} = T_{\text{ср.о}} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i}, \quad (4.3)$$

где $T_{\text{ср.о}}$ – средняя наработка до отказа основной системы; λ_0 – интенсивность отказов основной системы.

Средняя наработка до отказа автоматизированной системы в этом случае

$$T_{\text{ср.с}} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i}, \quad (4.4)$$

4.2.2. Поэлементное резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью

Пусть имеется объект, состоящий из основной и m резервных систем. Каждая система состоит из n последовательно соединенных элементов (см.

рис. 6.1). При этом каждый элемент основной системы резервируется в отдельности еще m такими же элементами (рис. 6.2).

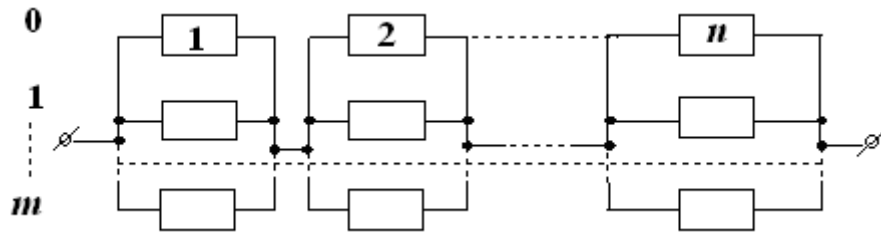


Рис. 6.2. Структурная схема системы с поэлементным резервированием, постоянно включенным резервом и целой кратностью

Данную структурную схему можно преобразовать в схему из n последовательно соединенных элементов, каждый из которых содержит цепочку из $(m+1)$ параллельно соединенных элементов. Тогда на основе выражений (6.1) и (6.6) ВБР системы будет определяться выражением

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - [1 - P_i(t)]^{m_j+1} \right\}, \quad (4.5)$$

где m_j - кратность резервирования i -го элемента. Индекс j указывает на то, что число резервов каждого элемента может быть различным.

Средняя наработка до отказа резервированной системы

$$T_{cp.c} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v_i(v_i+1)\dots(v_i+n-1)}, \quad (4.6)$$

где $v_i = (i+1)/(m+1)$.

Таким образом, в случае поэлементного резервирования с постоянно включенным резервом структурную схему можно преобразовать в схему из n последовательно соединенных элементов, каждый из которых содержит цепочку из $(m+1)$ параллельно соединенных элементов.

4.2.3. Общее резервирование замещением и целой кратностью

Пусть имеется объект, состоящий из одной основной и m резервных систем. Каждая система состоит из n последовательно соединенных элементов. При этом основная система резервируется целиком еще m такими же системами, но резервные системы выключены и не работают (рис. 4.3), а включаются только после отказа основной.

При этом предполагается, что отказы системы обнаруживаются мгновенно и переключение на резерв осуществляется без прерывания работы системы, переходные процессы не возникают, т. е. имеется идеальное переключение.

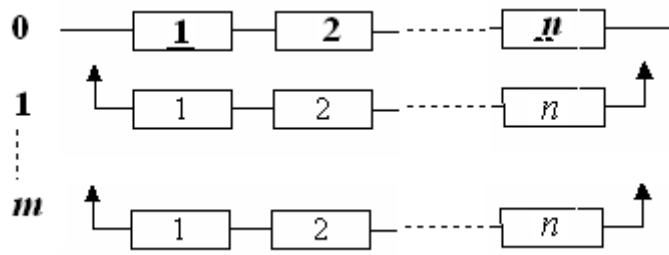


Рис. 4.3. Структурная схема системы с общим резервированием замещением и целой кратностью

При соблюдении экспоненциального закона распределения и ненагруженном резерве ВБР системы будет определяться выражением

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_o t) \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_o t)^i}{i!}; \quad T_{\text{ср.с}} = T_{\text{ср.о}}(m+1), \quad (4.7)$$

где λ_o , $T_{\text{ср.о}}$ – интенсивность отказов и средняя наработка до первого отказа основной системы.

В случае нагруженного резерва расчет проводится по формулам (4.1).

4.2.4. Поэлементное резервирование замещением и целой кратностью

Пусть имеется объект, состоящий из одной основной и m резервных систем. Каждая система состоит из n последовательно соединенных элементов. При этом каждый элемент основной системы резервируется в отдельности замещением еще m такими же элементами (рис. 4.4).

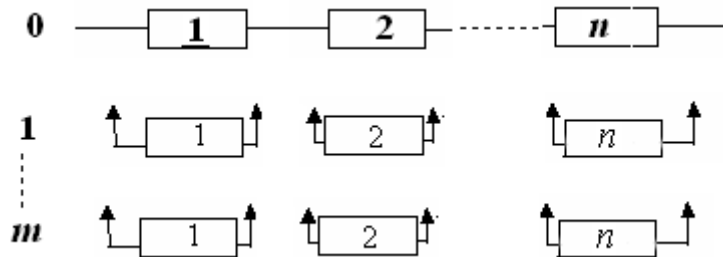


Рис. 4.4. Структурная схема системы с поэлементным резервированием замещением и с целой кратностью

В этом случае ВБР системы будет определяться по выражению

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4.8)$$

где $P_i(t)$ определяется по формулам (4.1).

4.2.5. Общее резервирование с постоянно включенным резервом и дробной кратностью

Рассмотрим систему из r основных элементов (рис. 4.5) и m резервных. Кратность резервирования системы:

$$k = \frac{h-r}{r} = \frac{5-2}{2} = \frac{3}{2}, \text{ т. е. кратность дробная.}$$

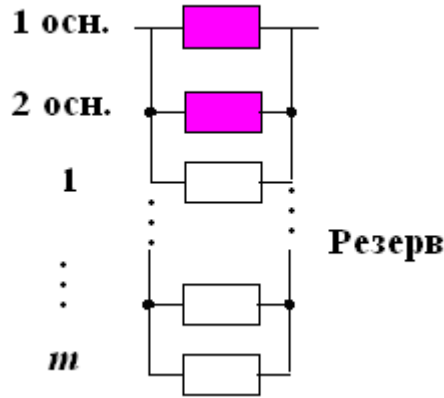


Рис. 4.5. Структурная схема системы с общим резервированием и дробной кратностью

В этом случае ВБР системы будет определяться следующим выражением:

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{h-r} C_h^i P^{h-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_o^j(t), \quad (4.9)$$

где C_h^i, C_i^j – число сочетаний h по i и i по j соответственно; h – общее число элементов (основных и резервных) системы; r – число основных элементов, системы; $p_o(t)$ – ВБР основного или любого резервного элемента, если они равнонадежны.

Наработка системы до отказа будет определяться как:

$$T_{\text{ср.с}} = \frac{1}{\lambda_o} \sum_{i=0}^{h-r} \frac{1}{r+i}. \quad (4.10)$$

Для определения C_h^i или C_i^j используются известные формулы комбинаторики:

$$C_x^y = \frac{x!}{y!(x-y)!} \quad \text{или при } y > 1 \quad C_x^y = \frac{y(y-1)\dots[y-(x-1)]}{x!}.$$

При этом следует учитывать, что $0! = 1$; $C_x^0 = C_x^x = 1$.

Таким образом, наличие резерва с дробной кратностью приводит к изменению отношения интенсивности отказов системы к интенсивности отказов элемента от нуля до постоянной величины, равной количеству основных элементов системы ($n - m$).

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите основные виды структурного резервирования.
2. Чем отличается методика расчета при резервировании с целой и дробной кратностью?
3. Сколько элементов обычно работает в системах с мажоритарным резервированием?
4. Проведите на примере расчет надежности АС со скользящим резервированием.
5. Какова методика расчета надежности при скользящем резервировании?
6. Что общего в расчетах случаев мажоритарного и скользящего резервирования?
7. Как учитывается влияние резерва, работающего в облегченном режиме?
8. Чем отличается общее резервирование от поэлементного?
9. Какова кратность резервирования при резервировании с дробной кратностью?
10. Сформулируйте условие отказа при мажоритарном резервировании.

4.3. Типовые примеры и их решения

Пример 4.1. Система состоит из 10 равнонадежных элементов, средняя наработка на отказ $T_{\text{ср}}$ элемента равна 1000 ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности для элементов системы. Основная и резервная системы равнонадежны.

Определить среднюю наработку до первого отказа $T_{\text{ср.с}}$ системы, частоту $a_c(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_c(t)$ в момент времени $t = 50$ ч в следующих случаях:

- а) нерезервированная система;
- б) дублированная система при постоянно включенном резерве;
- в) дублированная система при включении резерва по способу замещения.

Решение: Поскольку справедлив экспоненциальный закон надежности, то средняя наработка системы до первого отказа будет

$$T_{\text{ср.о}} = T_a = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{10} \lambda_i} = \frac{1}{10 \cdot \lambda} = \frac{T}{10} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ ч.}$$

При постоянно включенном резерве в количестве, равном 1, имеем

$$T_{\text{ср.с}} = T_{\text{ср.о}} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = T_{\text{ср.о}} \left(1 + \frac{1}{2} \right) = 150 \text{ ч.}$$

При дублировании по способу замещения согласно (4.13)

$$T_{\text{ср.с}} = T_{\text{в}} = T_{\text{ср.о}} (m+1) = 2T_{\text{ср.о}} = 200 \text{ ч.}$$

В случае нерезервированной системы интенсивность отказов не зависит от времени и равна сумме интенсивностей отказов элементов.

$$\lambda_c(50) = \sum_{i=1}^{10} \lambda_i = \sum_{i=1}^{10} \frac{1}{T_i} = \frac{1}{T_{\text{ср.о}}} = 0,01 \text{ ч}^{-1}$$

$$f_c(50) = \lambda_c(50) \cdot P(50) = \lambda_c(50) \cdot e^{-\lambda_c(50) \cdot 50} \cong 0,01 \cdot e^{-0,01 \cdot 50} \cong 6 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

В случае дублированной системы интенсивность и частота отказов могут быть найдены по известной ВБР системы. В данном случае число элементов нерезервированной системы $n = 10$, кратность резервирования $m = 1$. Тогда имеем

$$P_6(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda_0 t}]^{m+1} = 2 \cdot e^{-\lambda_0 t} - e^{-2\lambda_0 t},$$

$$P_B(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0 t} (1 + \lambda_0 t),$$

где $\lambda_0 = \sum_{i=1}^{10} \lambda_i = 0,01 \text{ ч}^{-1}$.

Найдем частоту и интенсивность отказов

$$f_6(t) = -P_6'(t) = 2\lambda_0 e^{-\lambda_0 t} (1 - e^{-\lambda_0 t}),$$

$$\lambda_6(t) = \frac{f_6(t)}{P_6(t)} = \frac{2\lambda_0 e^{-\lambda_0 t} (1 - e^{-\lambda_0 t})}{2e^{-\lambda_0 t} - e^{-2\lambda_0 t}} = \frac{2\lambda_0 (1 - e^{-\lambda_0 t})}{2 - e^{-\lambda_0 t}},$$

$$f_B(t) = -P_B'(t) = \lambda_0^2 \cdot t \cdot e^{-\lambda_0 t},$$

$$\lambda_B(t) = \frac{f_B(t)}{P_B(t)} = \frac{\lambda_0^2 \cdot t \cdot e^{-\lambda_0 t}}{e^{-\lambda_0 t} (1 + \lambda_0 t)} = \frac{\lambda_0^2 \cdot t}{1 + \lambda_0 t}.$$

Подставив исходные данные, получим:

$$f_6(50) \cong 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}; \quad \lambda_6 \cong 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1};$$

$$f_B(50) \cong 3 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}; \quad \lambda_B \cong 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

Пример 4.2. Система состоит из двух основных и одного резервного элемента (рис. 4.6). Определить ВБР системы. Все элементы равнонадежны, $p_i = 0,9$.

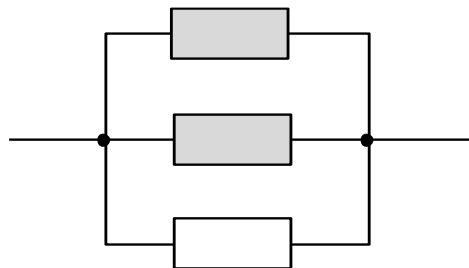


Рис. 4.6. Схема к примеру 4.2

Решение: Определим кратность резервирования: общее число систем $n = 3$, число систем, необходимых для нормальной работы $r = 2$. Тогда кратность резервирования

$$k = \frac{h-r}{r} = \frac{3-2}{2} = \frac{1}{2},$$

следовательно, применено резервирование с дробной кратностью. Тогда на основании (4.15):

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{h-r} C_h^i p_o^{h-i} \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_o^j = \sum_{i=0}^1 C_3^i p_o^{3-i} \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_o^j = C_3^0 p_o^3 + C_3^1 p_o^2 \left[(-1)^0 C_2^0 p_o^0 + (-1)^1 C_2^1 p_o^1 \right] = p_o^3 + 3p_o^2(1-p_o) = 3p_o^2 - 2p_o^3.$$

Учитывая, что $p_o = p_i = 0,9$, окончательно получаем

$$P_c(t) = 3(0,9)^2 - 2(0,9)^3 = 0,972.$$

4.4. Задачи

4.1. Две аккумуляторные батареи работают на одну нагрузку. Интенсивность отказов каждой из них $\lambda = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. При отказе одной из батарей интенсивность отказов исправной возрастает вследствие более тяжелых условий работы и равна $\lambda_1 = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Определить ВБР системы в течение времени $t = 1000 \text{ ч}$ и среднее время безотказной работы.

Ответ: $P_c(t) = 0,999$; $T_{\text{ср.с}} = 62500 \text{ ч}$.

4.2. Система электроснабжения обогатительного цеха состоит из четырех генераторов, номинальная мощность каждого из которых $W = 18 \text{ кВт}$. Безаварийная работа возможна, если система электроснабжения может обеспечить потребителю мощность 30 кВт .

Определить ВБР системы электроснабжения в течение времени $t = 600 \text{ ч}$, если интенсивность отказов каждого из генераторов $\lambda = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ ч}$, а также среднюю наработку до первого отказа.

Ответ: $P_c(600) = 0,997$, $T_{\text{ср.с}} = 7220 \text{ ч}$.

4.3. Схема расчета надежности приведена на рис. 4.7. Определить ВБР системы и вероятность отказа.

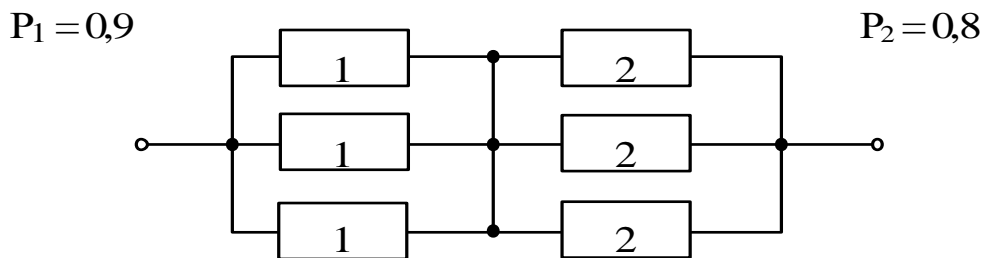


Рис. 4.7. Схема расчета надежности к задаче 4.3

Ответ: $P_c = 0,991$; $Q_c = 0,009$.

4.4. Схема расчета надежности приведена на рис. 4.8. Определить ВБР системы, если $q_1 = 0,1$; а $q_2 = 0,2$.

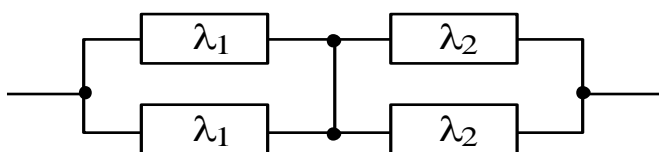


Рис. 4.8. Схема расчета надежности к задаче 4.4

Ответ: $P_c = 0,95$.

4.5. Вероятность безотказной работы резервированного устройства (рис. 4.9) в течение 300 ч равна 0,74. Резерв ненагруженный, интенсивность отказов элементов $\lambda = \text{const}$. Определить вероятность и среднее время безотказной работы.

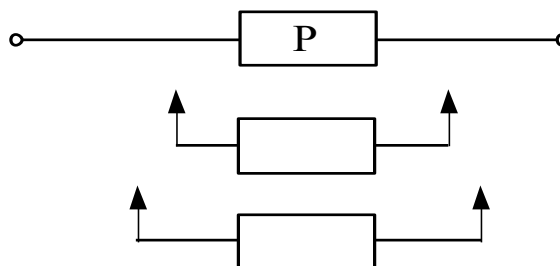


Рис. 4.9. Схема расчета надежности к задаче 4.5

Ответ: $P_c(300) = 0,995$; $T_{\text{ср.с}} = 3000$ ч.

4.6. Для повышения надежности используется схема группирования однотипных приборов из трех по два с четвертым таким же резервным прибором, находящимся в ненагруженном резерве, и который может заменить любой из отказавших. Известно, что интенсивность отказов одного прибора при исправных приборах схемы группирования $\lambda = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$, интенсивность отказов одного прибора при работе схемы группирования с одним отказавшим прибором $\lambda_1 = 0,36 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$, время непрерывной работы схемы $t = 100$ ч. Определить ВБР и среднюю наработку до первого отказа.

Ответ: $P_c(100) = 0,7$; $T_{\text{ср.с}} = 472$ ч.

4.7. Решить задачу 4.6 при условии, что четвертый резервный прибор находится в нагруженном режиме и его интенсивность отказов в этом состоянии равна λ .

Ответ: $P_c(100) = 0,62$; $T_{\text{ср.с}} = 431$ ч.

4.8. Решить задачу 4.14 при условии, что четвертый резервный прибор находится в облегченном режиме и в этом состоянии его интенсивность отказов $\lambda_2 = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$.

Ответ: $P_c(100) = 0,68$; $T_{\text{ср.с}} = 470$ ч.

5. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ

5.1. Методические указания

Следует обратить внимание, какие системы относятся к восстанавливаемым, а какие к невозстанавливаемым. Важно понимать, что эта классификация является условной и зависит от условий эксплуатации.

5.2. Краткие теоретические сведения

5.2.1. Метод переходных интенсивностей (вероятностей) для нерезервированных систем

Рассмотрим нерезервированную систему, которая в любой момент времени t может находиться в одном из двух состояний: работоспособном (0) и неработоспособном (1). Вероятности этих событий составляют $P_0(t)$ и $P_1(t)$ соответственно. Тогда можно записать: $K_T(t) = P_0(t)$; $K_{П}(t) = P_1(t)$. При длительной эксплуатации могут быть достигнуты установившиеся (близкие к стационарным) значения $K_T = P_0$ и $K_{П} = P_1$.

Пусть время безотказной работы подчиняется экспоненциальному распределению. Составим схему состояний системы (рис. 5.1).

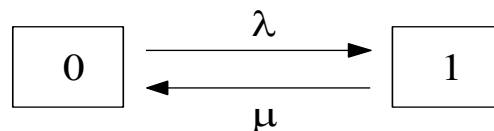


Рис. 5.1. Схема состояний системы

Надежность таких систем описывается системой алгебраических уравнений, число которых соответствует числу возможных состояний системы управления. Составим эти уравнения. Для этого воспользуемся следующими правилами:

- левые части содержат производные по времени вероятностей соответствующих состояний $P'_j(t)$;
- каждый член правой части получается путем умножения интенсивности перехода на соответствующую вероятность состояния;
- знак определяется стрелкой: плюс, если острие направлено к состоянию, и минус, – если наоборот;
- число уравнений равно числу состояний;
- система уравнений обязательно дополняется нормировочным условием: сумма вероятностей всех состояний равна единице.

В соответствие со схемой (см. рис. 5.1) имеем:

$$\begin{cases} P'_o(t) = -\lambda P_o(t) + \mu P_1(t) \\ P'_1(t) = \lambda P_o(t) - \mu P_1(t) \\ P_o(t) + P_1(t) = 1. \end{cases}$$

Если в момент времени $t = 0$ система находится в работоспособном состоянии, то начальные условия имеют следующий вид:

$$P_o(0) = 1 \quad \text{и} \quad P_1(0) = 0.$$

Решая систему, получим:

$$\begin{aligned} K_r(t) = P_o(t) &= \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp[-(\mu + \lambda)t], \\ K_n(t) = P_1(t) &= \frac{\lambda}{\mu + \lambda} - \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp[-(\mu + \lambda)t]. \end{aligned}$$

Если в момент времени $t = 0$ система находится в ремонте, т. е. в неработоспособном состоянии, то начальные условия имеют вид

$$P_o(0) = 0 \quad \text{и} \quad P_1(0) = 1,$$

тогда

$$\begin{aligned} K_r(t) = P_o(t) &= \frac{\mu}{\mu + \lambda} - \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp[-(\mu + \lambda)t]; \\ K_n(t) = P_1(t) &= \frac{\lambda}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp[-(\mu + \lambda)t]. \end{aligned}$$

При длительной эксплуатации $t \rightarrow \infty$ и получаем стационарные значения коэффициентов:

$$K_r = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad \text{и} \quad K_n = \frac{\lambda}{\mu + \lambda}.$$

В общем случае

$$K_r(t) = \sum_{j=1}^n P_j(t), \quad (5.1)$$

где n – число работоспособных состояний системы; $P_j(t)$ – вероятность j -го работоспособного состояния.

Число неработоспособных состояний значительно меньше числа работоспособных. При этом удобнее вычислять коэффициент простоя:

$$K_n(t) = \sum_{l=1}^{m+1-n} P_l(t), \quad (5.2)$$

где $P_l(t)$ – вероятность первого неработоспособного состояния; $(m+1)$ – общее число состояний.

Таким образом, для расчета надежности восстанавливаемых систем необходимо провести анализ состояний, в которых может находиться система и составить схему состояний.

5.2.2. Метод переходных интенсивностей для резервированных систем

Пусть имеется система, состоящая из равнонадежных одного основного и m резервированных элементов, устройств или систем. Система может находиться в любом из $(m + 1)$ состояний:

0 – все элементы работоспособны;

1 – один элемент в неработоспособном состоянии;

.....

$j - j$ элементов в неработоспособном состоянии;

.....

$(m + 1) - (m + 1)$ элементов в неработоспособном состоянии (все отказали).

Полагаем, что при замене работающего элемента на резервный перерыва в работе системы не происходит, поэтому отказ системы наступает при одновременной неработоспособности основного и всех резервных элементов (состояние $(m + 1)$).

Составим схему состояний системы (рис. 5.2).

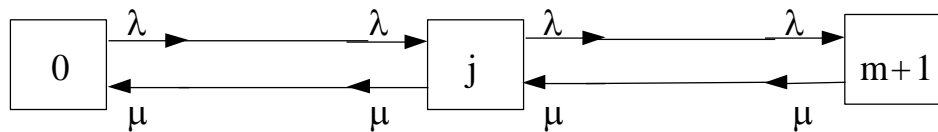


Рис. 5.2. Схема состояний системы для ненагруженного резерва и ограниченного восстановления

Если основная система состоит из нескольких элементов (изделий, устройств), то в качестве λ и μ рассматриваются потоки отказов и восстановлений системы.

Здесь можно рассмотреть несколько случаев.

Случай 1 - ненагруженный резерв, абсолютно надежный переключатель и в наличии одна ремонтная бригада (ограниченное восстановление).

Элементы в ненагруженном состоянии не могут отказаться, следовательно, их $\lambda = 0$. Если число отказавших (неработоспособных) элементов больше одного, то образуется очередь на ремонт.

Согласно схеме состояний (см. рис. 5.2), составим систему уравнений:

$$\begin{cases} P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_j(t) = \lambda P_{j-1}(t) - (\lambda + \mu) P_j(t) + \mu P_{j+1}(t); \\ P'_{m+1}(t) = \lambda P_m(t) - \mu P_{m+1}(t); \\ \sum_{j=0}^{m+1} P_j(t) = 1. \end{cases}$$

При $t \rightarrow \infty$ система дифференциальных уравнений переходит в систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu P_1 = 0; \\ \lambda P_{j-1} - (\lambda + \mu)P_j + \mu P_{j+1} = 0; \\ \lambda P_m - \mu P_{m+1} = 0. \end{cases}$$

В результате решения системы уравнений получаем установившиеся значения K_Γ и K_Π :

$$K_\Pi = P_{m+1} = \frac{1}{\sum_{j=0}^{m+1} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j}; \quad K_\Gamma = 1 - K_\Pi = 1 - P_{m+1} = 1 - \frac{1}{\sum_{j=0}^{m+1} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j}.$$

Случай 2 – условия случая 1, но для системы из $(m + 1)$ элемента имеется $(m + 1)$ ремонтная бригада (неограниченное восстановление).

В случае 2 очередь на ремонт отсутствует. Схема состояний системы для случая 2 приведена на рис. 5.3.

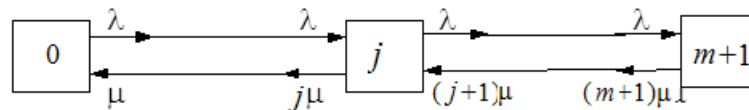


Рис. 5.3. Схема состояний системы для ненагруженного резерва и неограниченного восстановления

Путем аналогичных для случая 1 рассуждений составляем систему уравнений. В результате ее решения при $P_j'(t) = 0$ получаем

$$K_\Pi = P_{m+1} \frac{1}{\sum_{j=0}^{m+1} \frac{(m+1)!}{j!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{m+1-j}}; \quad K_\Gamma = 1 - K_\Pi = 1 - P_{m+1}.$$

Случай 3 – нагруженный резерв, абсолютно надежный переключатель, ограниченное восстановление.

Схема состояний приведена на рис. 5.4.

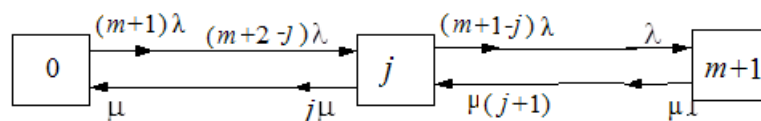


Рис. 5.4. Схема состояний системы для нагруженного резерва и ограниченного восстановления

Резервные элементы работают в одном режиме с основными и, следовательно, как и основные, могут отказать в любой случайный момент времени.

В результате решения системы уравнений получаем:

$$K_{\Pi} = \frac{1}{\sum_{j=0}^{m+1} \frac{1}{j!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j}; \quad K_{\Gamma} = 1 - K_{\Pi}.$$

Случай 4 – условие случая 3, но имеется $(m + 1)$ ремонтная бригада (неограниченное восстановление). Схема состояний приведена на рис. 5.5.

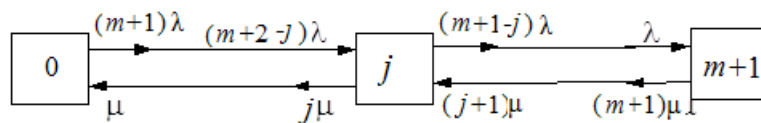


Рис. 5.5. Схема состояний системы с нагруженным резервом и неограниченным восстановлением

В результате решения системы уравнений имеем:

$$K_{\Pi} = \left(\frac{\lambda}{\mu + \lambda}\right)^{m+1};$$

$$K_{\Gamma} = 1 - K_{\Pi} = \sum_{j=0}^m C_{m+1}^{m+1-j} \left(\frac{\mu}{\mu + \lambda}\right)^{m+1-j} \left(\frac{\lambda}{\mu + \lambda}\right)^j.$$

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие восстанавливаемых систем от невозстанавливаемых?
2. В чем отличие общего и поэлементного резервирования для восстанавливаемых систем от резервирования для невозстанавливаемых систем?
3. В чем заключается сущность метода переходных интенсивностей?
4. В чем суть метода составления интегро-дифференциальных уравнений?
5. В чем проявляется отличие случаев ограниченного и неограниченного восстановления?
6. Можно ли определить стационарные вероятности P_k нахождения системы в k -м состоянии без составления дифференциальных уравнений?
7. В каком направлении совершается обход в методе переходных интенсивностей?
8. Сколько раз можно проходить один и то же участок?

9. Чему равно число состояний, в которых может находиться система в случае равнонадежных и неравнонадежных элементов?

10. Назовите основные критерии надежности восстанавливаемых систем.

5.3. Типовые примеры и их решения

Пример 5.1. Для информационной части защиты по обнаружению аммиака в атмосфере рассчитать вероятность правильного срабатывания после пребывания в состоянии ожидания в течение 2000 ч, если состояние элементов не контролировалось. Определить коэффициенты оперативной готовности, если состояние элементов контролируется непрерывно и с периодичностью 200 ч. Среднее время профилактического обслуживания составляет 2 ч, длительность срабатывания защиты 0,1 ч. Информационная часть включает индикатор (И) с импульсной линией, вторичный прибор (ВП) и электрические линии связи. Для этих элементов интенсивности отказов и восстановления составляют соответственно:

$$\lambda_{\text{И}} = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}; \lambda_{\text{ИЛ}} = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}; \lambda_{\text{ВП}} = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; \lambda_{\text{ЛС}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$$

$$\mu_{\text{И}} = 0,5 \text{ ч}^{-1}; \mu_{\text{ИЛ}} = 0,1 \text{ ч}^{-1}; \mu_{\text{ВП}} = 0,2 \text{ ч}^{-1}; \mu_{\text{ЛС}} = 0,1 \text{ ч}^{-1}.$$

Решение: Для информационной части защиты

$$\lambda = \sum_{i < 1}^n \lambda_i = \lambda_{\text{И}} + \lambda_{\text{ИЛ}} + \lambda_{\text{ВП}} + \lambda_{\text{ЛС}} = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Вероятность правильного срабатывания при отсутствии контроля равна вероятности безотказной работы $P(t + \Delta t) = e^{-\lambda(t + \Delta t)} = 0,783$ за время $t + \Delta t = 2000,1$ ч. При непрерывном контроле состояния всех элементов согласно (5.9)

$$K_{\text{ог}} = k_{\text{ИЛ}} k_{\text{И}} k_{\text{ВП}} k_{\text{ЛС}} \cdot e^{-\lambda \Delta t} = 0,9999 \cdot 0,9999 \cdot 0,9995 \cdot 0,9998 \cdot e^{-1,22 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1} = 0,9993.$$

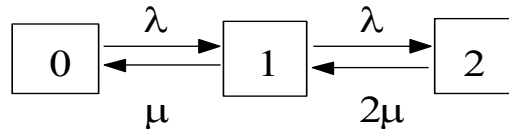
При периодическом контроле состояния элементов согласно (5.10) для импульсных линий $k_{\text{ог}} = 0,989$, для индикатора 0,989, для вторичного прибора 0,980, для линий связи 0,990; откуда для информационной части

$$K_{\text{ог}} = 0,989 \cdot 0,989 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,95.$$

Пример 5.2. Для питания системы шахтной связи используется агрегат с двумя генераторами, каждый из которых может обеспечить нормальную работу системы. Генераторы работают поочередно, при отказе одного включается резервный, а отказавший ремонтируют. Конструкция агрегата допускает одновременный ремонт обоих генераторов, имеется нужное число ремонтников. Определить коэффициент готовности системы, если наработка на отказ T_0 генератора в пять раз больше среднего времени устранения отказа $T_в$. Предполагается справедливость экспоненциального закона надежности.

Решение: Система может находиться в одном из трех состояний:
 0 - система работоспособна (оба генератора работают);
 1 - система работоспособна (один генератор работает, другой - в ремонте);
 2 - система неработоспособна (оба генератора в ремонте).

Обозначим вероятности этих состояний $P_0(t)$, $P_1(t)$ и $P_2(t)$ соответственно и составим схему состояний для случая с ненагруженным резервом и неограниченным временем восстановления. Число резервных генераторов $m=1$.



Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} P_0'(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P_1'(t) = \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t) \\ P_2'(t) = \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t) \\ P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1 \end{cases}$$

При установившемся режиме работы, $t \rightarrow \infty$ система дифференциальных уравнений переходит в систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu P_1 = 0 \\ \lambda P_0 - (\lambda + \mu)P_1 + 2\mu P_2 = 0 \\ \lambda P_1 - 2\mu P_2 = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 = 1 \end{cases}$$

Согласно схеме состояний $K_T = P_0 + P_1$ введем обозначение

$$a = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{T_B}{T_0}.$$

Из решения системы уравнений получаем

$$P_0 = \frac{2}{1 + (1 + a)^2}; \quad P_1 = \frac{2a}{1 + (1 + a)^2};$$

$$K_2 = \frac{2(1 + a)}{1 + (1 + a)^2} = \frac{2\left(1 + \frac{T_B}{T_0}\right)}{1 + \left(1 + \frac{T_B}{T_0}\right)^2} = 0,98.$$

Пример 5.3. Восстанавливаемая система с экспоненциальным распределением ВБР и времени восстановления имеет коэффициент

готовности (стационарный) $K_r = 0,9$. Определить коэффициент готовности $K_r(t)$ к моменту времени $t_1 = 50$ ч, если среднее время наработки на отказ $T_o = 500$ ч.

Решение: Согласно (5.4)

$$K_r(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp[-(\mu + \lambda)t].$$

В установившемся режиме, т. е. когда $t \rightarrow \infty$ $K_r = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{T_o}{T_o + T_B}$;

откуда $T_B = \frac{1}{\mu} = T_o \frac{1 - K_r}{K_r} = 55$ ч.

$$\text{Тогда } K_r(50) = K_r + (1 - K_r) \exp\left[-\frac{t_1}{K_r T_B}\right] = 0,9 + (1 - 0,9) \cdot \exp\left[-\frac{50}{0,9 \cdot 55}\right] = 0,94.$$

Пример 5.4. Имеется система из двух блоков, причем при отказе любого из них система продолжает функционировать. Для повышения надежности системы применим общее резервирование, причем резерв работает в одном режиме с основной системой. Для выполнения ремонтных работ имеется две ремонтные бригады. Интенсивности отказов и восстановления равнонадежных блоков составляют $\lambda = 1 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹ и $\mu = 1$ ч⁻¹ соответственно. Определить коэффициенты готовности и простоя системы.

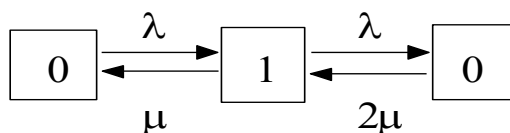
Решение: Проведем анализ работы системы, которая может находиться в любом из $m+2$ состояний, где m - число основных систем. Тогда число состояний $m + 2 = 3$.

0 - система работоспособна (оба блока работают);

1 - система работоспособна (один блок отказал, второй - работоспособен);

2 - система неработоспособна (оба блока отказали).

Составим схему состояний



Для решения воспользуемся формулой

$$P_k = \frac{\Delta_k}{\sum_{j=0}^m \Delta_j}.$$

Рассмотрим переходы

из 0 в 1 и 2	$\Delta_2 = 2\lambda \cdot \lambda = 2\lambda^2,$
из 2 и 1 в 0	$\Delta_0 = 2\mu \cdot \mu = 2\mu^2,$
из 0 и 2 в 1	$\Delta_1 = 2\lambda \cdot \mu = 2\lambda\mu,$

тогда $\sum_{j=0}^m \Delta_j = \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2 = 2\lambda^2 + 2\mu\lambda + 2\mu^2$.

$$\text{Отсюда } P_0 = \frac{\Delta_0}{\sum_{j=0}^m \Delta_j} = \frac{2\mu^2}{2(\lambda^2 + \mu\lambda + \mu^2)} = \frac{\mu^2}{\lambda^2 + \mu\lambda + \mu^2};$$

$$P_1 = \frac{2\mu\lambda}{2(\lambda^2 + \mu\lambda + \mu^2)} = \frac{\mu\lambda}{\lambda^2 + \mu\lambda + \mu^2}; \quad P_2 = \frac{\lambda^2}{\lambda^2 + \mu\lambda + \mu^2}.$$

Система неработоспособна в состоянии 2 и работоспособна в состояниях 1 и 0, следовательно,

$$K_{\text{н}} = P_2; \quad K_{\text{г}} = P_0 + P_1 = 1 - K_{\text{н}} = 1 - P_2$$

$$K_{\text{н}} = \frac{(1 \cdot 10^{-3})}{(1 \cdot 10^{-3})^2 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 + 1^2} \cong 1 \cdot 10^{-6}; \quad K_{\text{г}} = 0,9999.$$

5.5. Задачи

5.1. Восстанавливаемая система с экспоненциальным распределением надежности и времени восстановления имеет коэффициент готовности $K_{\text{г}}=0,95$. Определить ВБР системы в течение наработки 0,10 ч, если среднее время восстановления $T_{\text{в}} = 5$ ч.

Ответ: $P(10) = 0,9$.

5.2. В случае отказа система шахтной связи находится в неработоспособном состоянии и ремонтируется. По окончании ремонта система немедленно включается. Интенсивности отказов и восстановлений составляют $\lambda = 0,001 \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 0,1 \text{ ч}^{-1}$ соответственно. Определить вероятность появления возможных состояний системы в моменты $t_1 = 5$ и $t_2 = 30$ ч. Рассмотреть два случая в момент $t = 0$: а) система работоспособна; б) система неработоспособна.

Ответ: $K_{\text{г а}}(5) = 0,996$ $K_{\text{г а}}(30) = 0,905$
 $K_{\text{г б}}(5) = 0,986$ $K_{\text{г б}}(30) = 0,990$.

5.3. Радиоприемное устройство, состоящее из рабочего блока с нагруженным резервом, рассчитано на непрерывную работу. Интенсивности отказов и восстановлений каждого блока равны $\lambda = 8 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 0,2 \text{ ч}^{-1}$ соответственно. Имеются две дежурные ремонтные бригады. Определить вероятность простоя устройства.

Ответ: $K_{\text{н}} = 1,6 \cdot 10^{-3}$.

5.4. Система контроля состава атмосферы шахты включает в себя анализирующий и передающий блоки, интенсивности отказов и восстановлений которых соответственно равны $\lambda = 1 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 2 \text{ ч}^{-1}$. При отказе любого из блоков система неработоспособна. При этом

работоспособный блок не отключается и в нем могут происходить отказы. Систему обслуживает одна ремонтная бригада. Определить коэффициенты готовности и простоя системы.

Ответ: $K_T = 0,99$; $K_{II} = 0,01$.

5.5. Условие задачи 5.4, но при отказе любого из блоков второй отключается и в нем не могут происходить отказы. Определить коэффициенты готовности и простоя.

Ответ: $K_T \approx 0,99$; $K_{II} \approx 1 \cdot 10^{-2}$.

5.6. Условие 5.5, но применено общее активное резервирование, переключатель абсолютно надежен. Определить коэффициенты простоя и готовности.

Ответ: $K_T = 0,9998$; $K_{II} = 2 \cdot 10^{-4}$.

5.7. Условие 5.6, но анализирующий блок резервирован ненагруженным резервом, который включается только после отказа основного. Определить коэффициенты простоя и готовности.

Ответ: $K_T = 0,99985$; $K_{II} \approx 1,5 \cdot 10^{-4}$.

5.8. Условие 5.6, но применено поэлементное резервирование блоков. Определить коэффициенты простоя и готовности.

Ответ: $K_T = 0,9999$; $K_{II} = 1 \cdot 10^{-4}$.

5.9. Имеется дублированная система с ненагруженным резервом. Каждая из подсистем состоит из двух последовательно соединенных приборов с интенсивностью отказов $\lambda = 1 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 3 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$. Система восстанавливается после отказа обеих подсистем. Длительностью восстановления можно пренебречь. Определить среднее число отказов за время $t = 100 \text{ ч}$.

Ответ: $n(t) = n(100) = 2,75$.

5.10. Имеется блок питания, состоящий из понижающего трансформатора, дросселя и двух конденсаторов с интенсивностями отказов $\lambda_{\text{тр}} = \lambda_1 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_{\text{эп}} = \lambda_2 = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_R = \lambda_3 = 5 \cdot 10^{-6}$ и средними временами замены $T_{\text{п}2} = T_{12} = 1,5 \text{ ч}$, $T_{\text{эп}} = T_2 = 1 \text{ ч}$ и $T_K = T_3 = 0,5 \text{ ч}$. Пробой любого из конденсаторов приводит к перегоранию трансформатора. Для повышения надежности блока конденсаторы зарезервированы путем подсоединения к каждому из них еще одного конденсатора. При этом из-за уменьшения нагрузки по напряжению вместо λ_K имеем $\lambda'_3 = \lambda'_K = 0,3\lambda_K$. Блок обслуживает один человек. Конденсатор может отказать только из-за пробоя. Ремонт может начаться только после отказа всего блока в целом и ведется до полного восстановления. Определить $P_c(t)$, $T_{\text{ср.с}}$, K_T и T_B , если $t = 2000 \text{ ч}$.

Ответ: $P_c(2000) = 0,9727$; $T_{\text{ср.с}} = 92320 \text{ ч}$.

$K_T = 0,99998$; $T_B = 1,79 \text{ ч}$.

5.11. Преобразователь “параметр-код” состоит из рабочего блока и блока в ненагруженном резерве. Распределения времен между отказами и

восстановлениями подчиняются экспоненциальному закону с параметрами $\lambda = 8 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 0,8 \text{ ч}^{-1}$. Определить значение коэффициентов простоя и во сколько раз уменьшается величина коэффициента простоя преобразователя при применении неограниченного восстановления по сравнению с ограниченным.

$$\text{Ответ: } K_{\text{п.огр}} \cong 1 \cdot 10^{-4}; \quad K_{\text{п.неогр}} \cong 0,5 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{K_{\text{п.неогр}}}{K_{\text{п.огр}}} = \frac{1}{2}.$$

5.12. Станция радиорелейной связи включает в себя два работающих приемопередающих блока и один блок в ненагруженном резерве. Нарботка на отказ каждого работающего блока $T_o = 200 \text{ ч.}$, среднее время восстановления одного блока $T_b = 2 \text{ ч.}$ Станцию обслуживает одна ремонтная бригада. При неработоспособности двух блоков станции третий блок выключается и в нем не могут происходить отказы. Определить коэффициент простоя станции.

$$\text{Ответ: } K_{\text{п}} = 4 \cdot 10^{-4}.$$

5.13. Ремонтируемое изделие содержит рабочий и резервный блоки. Возможны варианты конструкторских решений, когда резервный блок может находиться как в нагруженном, так и ненагруженном резерве. Определить выигрыш Z в величине средней наработки до первого отказа изделия в случае ненагруженного резерва по сравнению с нагруженным, если для блоков справедливо условие $\mu \gg \lambda$.

$$\text{Ответ: } Z \approx 2.$$

5.14. Генератор импульсов содержит один рабочий блок, один блок в нагруженном резерве и один блок в ненагруженном резерве. При неработоспособности рабочего блока или блока в нагруженном резерве блок из ненагруженного резерва переводится в нагруженный. Интенсивности отказов и восстановлений каждого блока равны соответственно $\lambda = 1 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 0,5 \text{ ч}^{-1}$. Работает одна ремонтная бригада. Определить коэффициент простоя генератора.

$$\text{Ответ: } K_{\text{п}} = 5 \cdot 10^{-5}.$$

5.15. Регистрирующее устройство содержит рабочий блок и блок в нагруженном резерве. Вероятность отказа блока в течение 25 ч $Q(t) = 0,1$. Ремонт производится одной ремонтной бригадой с интенсивностью $\mu = 0,2 \text{ ч}^{-1}$. Определить коэффициенты простоя и готовности регистрирующего устройства.

$$\text{Ответ: } K_{\text{п}} = 8 \cdot 10^{-4}; \quad K_{\text{г}} = 2 \cdot 10^{-4}.$$

Литература

1. Острейковский В. А.. Теория надежности: учебник для вузов / - М : Высшая школа, 2003. - 463 с.
2. Синопальников В. А., Григорьев С. Н.. Надежность и диагностика технологических систем: учебник - Москва : Высшая школа, 2005. - 343 с.
3. Хазин М. Л. Надежность, оптимизация и диагностика автоматизированных систем: учебник. - Екатеринбург: УГГУ, 2017. - 225 с. 2
Хазин М. Л. Диагностика и надежность автоматизированных систем: учебное пособие - Екатеринбург: УГГУ, 2013. - 196 с.
4. Ястребенецкий М. А., Иванова Г. М.. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами: учебное пособие для вузов. М: Энергоатомиздат, 1989. - 264 с. 2

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Учебное издание

Марк Леонтьевич Хазин
доктор технических наук, профессор

ДИАГНОСТИКА И НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Методические указания
по самостоятельной работе

Редактор Л. В. Устьянцева

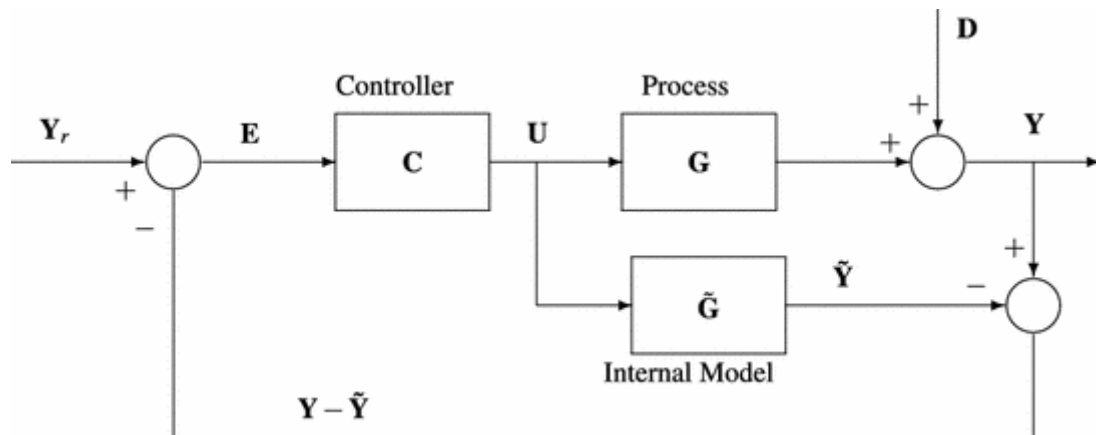
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать . .17г.
Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 2,62 14,35. Уч.-изд. л_3,09. Тираж 200. Заказ №
Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета
Отпечатано с оригинал макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

А. А. Жиленков

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ:
Дискретные системы прогностического управления в теории, задачах
и примерах в MATLAB



Санкт-Петербург

2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.А. Жиленков

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ:
Дискретные системы прогностического управления в
теории, задачах и примерах в MATLAB**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 15.04.06, 27.04.03, 27.04.04
в качестве учебного пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург
2019

Жиленков А. А., Моделирование систем и комплексов. Дискретные системы прогностического управления в теории, задачах и примерах в MATLAB. Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2019. — 79 с.

Рецензент:

Кремлев Артем Сергеевич, канд. техн. наук, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") факультета систем управления и робототехники Университета ИТМО.

В учебном пособии рассматриваются общие сведения о непрерывных и дискретных системах управления, построенных на базе прогнозирующих моделей объектов управления, подходы к их синтезу, расчёту и моделированию. Приводятся поясняющие примеры и упражнения, демонстрирующие возможности применения рассмотренных методов расчёта и моделирования.

Для студентов технических вузов, обучающихся по направлениям магистратуры 15.04.06 "Мехатроника и робототехника", 27.04.03 "Системный анализ и управление", 27.04.04 "Управление в технических системах".



Университет ИТМО — ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019
© Жиленков А.А., 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Дискретные системы управления с прогнозирующей моделью	7
1.1 Модели пространства состояний	7
1.2 Система с одним входом и одним выходом (SISO)	7
1.3 Пример проектирования расширенной модели в MATLAB	9
1.4 Задания для самостоятельной работы	11
2 Прогностическое управление в одном окне оптимизации	12
2.1 Прогнозирование переменных состояния и выхода	12
2.2 Оптимизация	14
2.3 Синтез прогностических моделей в MATLAB	21
2.4 Задания для самостоятельной работы	23
3 Управление с удаляющимся горизонтом прогнозирования	24
3.1 Система управления с замкнутым контуром	25
3.2 Моделирование систем управления с удаляющимся горизонтом в MATLAB	31
3.3 Задания для самостоятельной работы	34
4 Управление с прогнозирующей моделью в МИМО-системах	37
4.1 Общее описание модели	37
4.2 Собственные значения расширенной модели	38
4.3 Управляемость и наблюдаемость расширенной модели	38
4.4 Расчёт прогнозирующего управления для МИМО-систем	42
4.5 Наблюдатель состояния	43
4.6 Основы теории наблюдателей	44
4.7 Определение наблюдаемости	48
4.8 Фильтр Калмана	51
4.9 Настройка динамики наблюдателя	52
4.10 Прогнозирующее управление с оценкой состояния в MATLAB	53
4.11 Задания для самостоятельной работы	57
ПРИЛОЖЕНИЕ	61
Литература	70

ВВЕДЕНИЕ

Существует три основных подхода к прогностическому управлению, каждый из которых использует уникальную структуру прогнозирующей модели. Ранее, при моделировании систем прогнозирующего управления на базе внутренней модели (СУПМ), исследователи отдавали предпочтение фильтрам с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и моделям с импульсным откликом (ИО).

Алгоритмы расчета, основанные на модели КИХ/ИО, включают динамическое матричное управление (ДМУ) Кутлера и Рамакера [1] и квадратичную формулировку ДМУ Гарсиа и Моршеди [2]. КИХ-модели привлекательны для инженеров-технологов, поскольку структура модели дает прозрачное описание времени запаздывания процесса в объекте, времени отклика, усиления. Тем не менее, сфера их применения ограничена устойчивыми объектами и часто требует моделей высоких порядков. Структура подобной модели как правило требует от 30 до 60 коэффициентов импульсного отклика в зависимости от динамики процесса и длительности интервалов выборки (сэмплирования).

Модели на базе передаточных функций дают более лаконичное описание динамики процесса и применимы как к устойчивым, так и неустойчивым объектам управления (ОУ). СУПМ на базе передаточной функции как правило включают алгоритм прогностического управления Петерки [3] и алгоритм обобщенного прогностического управления (ОПУ) Кларка и его коллег [4]. Предиктивное управление на основе передаточной функции часто считается менее эффективным при работе с многопараметрическими установками.

В последние годы наблюдается растущая популярность прогностического управления с использованием методов проектирования в пространстве состояний [5 – 8]. В настоящем курсе рассматриваются модели в пространстве состояний, как непрерывного, так и дискретного времени.

Учебное пособие «Моделирование систем и комплексов: Дискретные системы прогностического управления в теории, задачах и примерах в MATLAB» является углубленным и дополненным изложением раздела, посвященного моделированию систем прогностического управления, в рамках курса «Моделирование систем и комплексов». Курс читается магистрам первого года, обучающихся по направлениям 15.04.06 "Мехатроника и робототехника", 27.04.03 "Системный анализ и управление", 27.04.04 "Управление в технических системах" в Университете ИТМО.

Овладев материалом, изложенным в учебном пособии, обучающиеся получают знания, необходимые для успешной профессиональной деятельности и выполнения самостоятельной научной работы. Работа включает в себя освоение теории, приобретение навыка использования ее аппарата, приобретение практических знаний в области современных методов построения систем прогностического управления непрерывного и дискретного времени, перехода от математических моделей к реализации компьютерных моделей, эффективных численных методов решений.

Для успешного освоения учебного пособия студентам необходимо обладать знаниями по теории автоматического управления, различным разделам высшей математики, основам программирования.

Предметом изучения являются:

- дискретные системы управления с прогнозирующей моделью;
- модели пространства состояний;
- система с одним входом и одним выходом (SISO);
- компьютерные реализации расширенной модели;
- системы прогностического управления в одном окне оптимизации;
- прогнозирование переменных состояния и выхода;
- методы оптимизации систем прогностического управления;
- методы и средства синтеза прогностических моделей;
- системы управления с удаляющимся горизонтом прогнозирования;
- системы управления с замкнутым контуром;
- методы компьютерного моделирования систем управления с удаляющимся горизонтом;
- управление с прогнозирующей моделью в МИМО-системах.

В результате изучения дисциплины слушатели должны приобрести следующие знания, умения и навыки:

- знать на уровне представлений принципы математического описания систем и комплексов;
- знать на уровне воспроизведения основные статические и динамические характеристики математических моделей преобразователей информации;
- на уровне понимания знать основные принципы построения, алгоритмы численных решений моделей систем и комплексов;
- уметь формировать постановку задачи и участвовать в разработке математических и (или) программных моделей систем и комплексов;
- уметь производить расчёты и проектирование отдельных блоков, устройств, систем и комплексов при моделировании
- получить навыки синтеза моделей и алгоритмов;
- обучиться навыкам работы с основными средствами моделирования комплексов и систем;
- получить навыки синтеза и анализа цифровых управляющих и информационных модулей.

Каждый теоретический блок учебного пособия снабжён наглядными примерами решения практических задач, использующими описанные в теории методы, и заданиями для самостоятельной работы. После изучения очередного блока теоретического материала, студенту сначала предлагается повторить по заданной пошаговой инструкции ход решения задачи, включающий подробный анализ проблемы, возможные подходы к её решению, синтез математической модели и переход к её компьютерной реализации в среде MATLAB. Затем, для закрепления пройденного материала и получения навыков, студенту следует проработать предлагаемые задания для самостоятельной работы. Успешно выполнив задания для самостоятельной работы, студент получает указанные выше навыки, знания и умения.

Примеры построения компьютерных моделей ориентированы на применение студентом инструментов среды MATLAB. Учебное пособие знакомит с особенностями данной среды, реализации в ней работы с переменными, матричными операциями, графическим интерфейсом, множеством функций, востребованных в задачах математического моделирования, и описывает применение инструментов среды для решения приводимых задач. Решение включает написание скриптов в среде MATLAB, с выводом результатов моделирования в символьной и графической формах.

1 ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛЬЮ

1.1 Модели пространства состояний

Системы управления с прогнозирующей моделью проектируются на основе математической модели объекта [5 – 7]. Модель, используемая при проектировании системы управления, рассматривается как модель пространства состояний. При использовании модели пространства состояний текущая информация, необходимая для прогнозирования, представляется переменными состояниями.

1.2 Система с одним входом и одним выходом (SISO)

Для простоты мы начинаем наше исследование, предполагая, что ОУ представляет собой систему с одним входом и одним выходом, т.е. SISO-систему, описание которой задано уравнениями

$$x_m(k+1) = A_m x_m(k) + B_m u(k), \quad (1)$$

$$y(k) = C_m x_m(k), \quad (2)$$

где u – управляемая переменная или входная переменная; y – выход процесса; и x_m – вектор переменной состояния с размерностью n_l .

Обратим внимание, что представленная модель объекта имеет $u(k)$ в качестве входа.

Как видно, общая формулировка модели в пространстве состояний имеет слагаемое, описывающее прямую зависимость выхода $y(k)$ от входного сигнала $u(k)$:

$$y(k) = C_m x_m(k) + D_m u(k).$$

Однако, согласно принципу удаляющегося горизонта, где для прогнозирования и управления требуется текущая информация об ОУ, неявно предполагаем, что вход $u(k)$ не может влиять на выход $y(k)$. Таким образом, в модели ОУ $D_m = 0$.

Продифференцировав обе части (1), получим, что

$$x_m(k+1) - x_m(k) = A_m (x_m(k) - x_m(k-1)) + B_m (u(k) - u(k-1)).$$

Обозначим дифференциал переменной состояния как

$$\Delta x_m(k+1) = x_m(k+1) - x_m(k); \quad \Delta x_m(k) = x_m(k) - x_m(k-1),$$

а дифференциал переменной управления как

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1).$$

Данные дифференциалы есть приращения переменных $x_m(k)$ и $u(k)$. Тогда дифференцирование уравнения пространства состояний примет вид

$$\Delta x_m(k+1) = A_m \Delta x_m(k) + B_m \Delta u(k). \quad (3)$$

Обратим внимание, что вход модели пространства состояний есть $\Delta u(k)$. Далее необходимо связать $\Delta x_m(k)$ с выходом $y(k)$. Для этого выбирается новый вектор переменной состояния

$$x(k) = \left[\Delta x_m(k)^T \quad y(k) \right]^T,$$

где верхний индекс T означает транспонирование матрицы.

Заметим, что

$$\begin{aligned} y(k+1) - y(k) &= C_m (x_m(k+1) - x_m(k)) = C_m \Delta x_m(k+1) = \\ &= C_m A_m \Delta x_m(k) + C_m B_m \Delta u(k). \end{aligned} \quad (4)$$

Объединение (3) и (4) приводит к следующей модели пространства состояний:

$$\begin{aligned} \overbrace{\begin{bmatrix} \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix}}^{x(k+1)} &= \overbrace{\begin{bmatrix} A_m & o_m^T \\ C_m A_m & 1 \end{bmatrix}}^A \overbrace{\begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix}}^{x(k)} + \overbrace{\begin{bmatrix} B_m \\ C_m B_m \end{bmatrix}}^B \Delta u(k) \\ y(k) &= \overbrace{\begin{bmatrix} o_m & 1 \end{bmatrix}}^C \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $o_m = \overbrace{[0 \ 0 \ \dots \ 0]}^{n_1}$.

Тройка (A, B, C) называется моделью расширенного объекта управления, которая будет использоваться при проектировании предиктивного управления.

Пример 1.1. Рассмотрим дискретную по времени модель вида [86 – 89]

$$\begin{aligned} x_m(k+1) &= A_m x_m(k) + B_m u(k), \\ y(k) &= C_m x_m(k), \end{aligned} \quad (6)$$

где системные матрицы

$$A_m = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; B_m = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1 \end{bmatrix}; C_m = [1 \ 0].$$

Необходимо найти матрицы A, B, C в расширенной модели (5) и вычислить собственные значения матрицы A расширенной модели.

Решение. Из (5) следует $n_1 = 2$, $o_m = [0 \ 0]$. Из расширенной модели объекта имеем

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + B\Delta u(k), \\ y(k) &= Cx(k), \end{aligned} \quad (7)$$

где матрицы расширенной системы

$$A = \begin{bmatrix} A_m & o_m^T \\ C_m A_m & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} B_m \\ C_m B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1 \\ 0.5 \end{bmatrix};$$

$$C = [o_m \ 1] = [0 \ 0 \ 1].$$

Характеристическое уравнение матрицы A задано через

$$\begin{aligned} \rho(\lambda) = \det(\lambda I - A) &= \det \begin{bmatrix} \lambda I - A_m & o_m^T \\ -C_m A_m & (\lambda - 1) \end{bmatrix} = \\ &= (\lambda - 1) \det(\lambda I - A_m) = (\lambda - 1)^3. \end{aligned} \quad (8)$$

Следовательно, расширенная модель пространства состояний имеет три собственных значения при $\lambda = 1$. Среди них два – от первоначального уравнения интегратора и одно от расширения модели ОУ.

1.3 Пример проектирования расширенной модели в MATLAB

Практическое задание 1. Цель данного практического занятия – показать, как синтезировать дискретную по времени модель пространства состояний из заданной непрерывной модели пространства состояний, и спроектировать расширенную дискретную по времени модель пространства состояний.

Рассмотрим систему непрерывного времени с моделью пространства состояний вида

$$\begin{aligned} \dot{x}_m(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x_m(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} u(t), \\ y(t) &= [0 \ 1 \ 0] x_m(t). \end{aligned} \quad (9)$$

Указания к выполнению:

1. Создайте новый файл с именем **augmodel.m** и выполните ввод текста программы согласно приведённым ниже пошаговым инструкциям.
2. Создайте непрерывную модель переменных состояния, согласно данным из (9), введя программу

```

Ac=[0 1 0; 3 0 1; 0 1 0];
Bc=[1; 1; 3];
Cc=[0 1 0];
Dc=zeros(1,1);

```

3. Введите переменную Δt интервала дискретизации со значением 1:
- ```
Delta_t=1;
```

4. Данную непрерывную модель приведите к дискретному виду с помощью функции MATLAB 'c2dm', с заданным ранее интервалом выборки  $\Delta t$ :

```
[Ad, Bd, Cd, Dd]=c2dm(Ac, Bc, Cc, Dc, Delta_t);
```

5. Размеры системных матриц определяются в соответствии с числом состояний входов и выходов. Введите следующие строки программы:

```

[m1, n1]=size(Cd);
[n1, n_in]=size(Bd);
A_e=eye(n1+m1, n1+m1);
A_e(1:n1, 1:n1)=Ad;
A_e(n1+1:n1+m1, 1:n1)=Cd*Ad;
B_e=zeros(n1+m1, n_in);
B_e(1:n1, :)=Bd;
B_e(n1+1:n1+m1, :)=Cd*Bd;
C_zeros(m1, n1+m1);
C_e(:, n1+1:n1+m1)=eye(m1, m1);

```

6. Запустите программу, после чего будет сгенерирована расширенная модель переменных состояния, используемая далее для проектирования системы предиктивного контроля.

## **1.4 Задания для самостоятельной работы**

### ***Задача 1.1.***

*Нарисуйте структуру содержания данной главы. Перечислите ключевые уравнения и понятия, которые вы встретили в главе.*

### ***Задача 1.2.***

*Представьте себя в роли водителя, который пытается управлять транспортным средством на повороте.*

*Опишите свою деятельность с точки зрения системы прогнозирующего управления.*



## 2 ПРОГНОСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ОДНОМ ОКНЕ ОПТИМИЗАЦИИ

Следующим шагом в синтезе математической модели при проектировании системы прогностического управления является расчет прогнозируемого выхода ОУ при будущем сигнале управления, рассматриваемого как регулируемые переменные. Данное предсказание описывается в окне оптимизации.

Рассмотрим в деталях оптимизацию, выполняемую в пределах данного окна. Примем, что  $k_i$  – текущий отсчет времени, а  $N_p$  – длина окна оптимизации, выражаемая в количестве выборок.

Для простоты сначала рассмотрим случай SISO-системы, а затем расширим результаты на системы со множеством входов и выходов (MIMO-систему).

### 2.1 Прогнозирование переменных состояния и выхода

На данном этапе примем, что для текущей выборки  $k_i$ ,  $k_i > 0$ , вектор переменной состояния  $x(k_i)$  доступен для измерения и предоставляет информацию о текущем состоянии объекта [9 – 12].

Более общий случай, когда состояние объекта не может быть измерено непосредственно, будет рассмотрен позже.

Будущую траектория управления обозначим как

$$\Delta u(k_i), \Delta u(k_i + 1), \dots, \Delta u(k_i + N_c - 1),$$

где  $N_c$  называется горизонтом управления, задающим количество параметров, используемых для определения будущей траектории управления.

На основе имеющейся в  $x(k_i)$  информации, будущие значения переменных состояния прогнозируются для  $N_p$  выборок, где  $N_p$  называется горизонтом прогнозирования, кроме того,  $N_p$  также является длиной окна оптимизации.

Обозначим будущие значения переменных состояния как

$$x(k_i + 1 | k_i), x(k_i + 2 | k_i), \dots, x(k_i + m | k_i), \dots, x(k_i + N_p | k_i),$$

где  $x(k_i + m | k_i)$  – значение переменной состояния в момент  $k_i + m$ , прогнозируемое на основании текущей информации  $x(k_i)$  об объекте. Горизонт управления  $N_c$  выбирается меньшим (или равным) горизонту прогнозирования  $N_p$ .

Основываясь на модели пространства состояния  $(A, B, C)$ , будущие значения переменных состояния вычисляются последовательно, с использованием будущих значений параметров управления:

$$\begin{aligned}
x(k_i + 1 | k_i) &= Ax(k_i) + B\Delta u(k_i) \\
x(k_i + 2 | k_i) &= Ax(k_i + 1 | k_i) + B\Delta u(k_i + 1) = \\
&= A^2x(k_i) + AB\Delta u(k_i) + B\Delta u(k_i + 1) \\
&\vdots \\
x(k_i + N_p | k_i) &= A^{N_p}x(k_i) + A^{N_p-1}B\Delta u(k_i) + A^{N_p-2}B\Delta u(k_i + 1) + \dots \\
&\dots + A^{N_p-N_c}B\Delta u(k_i + N_c - 1).
\end{aligned}$$

Прогнозируемые значения переменных выхода вычисляются на основании прогнозируемых переменных состояния, путем подстановки вида

$$\begin{aligned}
y(k_i + 1 | k_i) &= CAx(k_i) + CB\Delta u(k_i) \\
y(k_i + 2 | k_i) &= CA^2x(k_i) + CAB\Delta u(k_i) + CB\Delta u(k_i + 1) \\
y(k_i + 3 | k_i) &= CA^3x(k_i) + CA^2B\Delta u(k_i) + CAB\Delta u(k_i + 1) + CB\Delta u(k_i + 2)
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
&\vdots \\
y(k_i + N_p | k_i) &= CA^{N_p}x(k_i) + CA^{N_p-1}B\Delta u(k_i) + CA^{N_p-2}B\Delta u(k_i + 1) + \dots \\
&\dots + CA^{N_p-N_c}B\Delta u(k_i + N_c - 1).
\end{aligned} \tag{11}$$

Обратим внимание, что все прогнозируемые переменные формируются из текущей информации о переменных состояния  $x(k_i)$  и будущего изменения управления  $\Delta u(k_i + j)$ , где  $j = 0, 1, \dots, N_c - 1$ .

Далее, определим векторы

$$Y = \begin{bmatrix} y(k_i + 1 | k_i) & y(k_i + 2 | k_i) & y(k_i + 3 | k_i) & \dots & y(k_i + N_p | k_i) \end{bmatrix}^T,$$

$$\Delta U = \begin{bmatrix} \Delta u(k_i) & \Delta u(k_i + 1) & \Delta u(k_i + 2) & \dots & \Delta u(k_i + N_c - 1) \end{bmatrix}^T,$$

где, в случае SISO-системы, размерность  $Y$  равна  $N_p$ , а размерность  $U$  равна  $N_c$ . Объединим (10) и (11) в компактной матричной форме:

$$Y = Fx(k_i) + \Phi\Delta U, \tag{12}$$

где

$$F = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ \vdots \\ CA^{N_p} \end{bmatrix};$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} CB & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CAB & CB & 0 & \dots & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \\ CA^{N_p-1}B & CA^{N_p-2}B & CA^{N_p-3}B & \dots & CA^{N_p-N_c}B \end{bmatrix}.$$

## 2.2 Оптимизация

Для значения сигнала уставки (цели управления)  $r(k_i)$ , сэмплированного в момент  $k_i$ , целью прогнозирующей системы управления в области горизонта предсказания является приведение прогнозируемого выхода как можно ближе к заданному значению сигнала уставки, причём мы предполагаем, что заданное значение сигнала уставки в окне оптимизации остается постоянным. Достижение данной цели сводится к задаче поиска "налучшего" вектора параметров управления  $\Delta U$ , обеспечивающего минимизацию функции ошибки между заданным значением уставки и прогнозируемым выходом.

Предполагая, что вектор данных, содержащий информацию о сигнале уставки, задан как

$$R_s^T = \overbrace{[1 \ 1 \ \dots \ 1]}^{N_p} r(k_i),$$

определим целевую функцию управления  $J$  как

$$J = (R_s - Y)^T (R_s - Y) + \Delta U^T \bar{R} \Delta U, \quad (13)$$

где  $\bar{R}$  – диагональная матрица вида  $\bar{R} = r_w I_{N_c \times N_c}$ , при  $r_w \geq 0$ , где  $r_w$  используется в качестве параметра настройки для обеспечения желаемых характеристик замкнутого контура.

Первое слагаемое в (13) связано с целью минимизации ошибки между прогнозируемым и заданным выходом, в то время как второе слагаемое отражает соображения относительно размера  $\Delta U$ , когда целевая функция  $J$  становится максимально малой.

В случае, когда задано  $r_w = 0$ , целевая функция (13) интерпретируется как ситуация, в которой для нас не имеет значения, насколько велико  $\Delta U$ , а целью является максимальная минимизация  $(R_s - Y)^T (R_s - Y)$ .

В случае больших значений  $r_w$  целевая функция (13) интерпретируется как ситуация, в которой нам необходимо производить тщательную оценку величины  $\Delta U$  и уменьшение ошибки  $(R_s - Y)^T (R_s - Y)$ .

Для нахождения оптимальной  $\Delta U$ , которая позволит минимизировать  $J$ , используем (12) и выразим  $J$  как

$$J = (R_s - Fx(k_i))^T (R_s - Fx(k_i)) - 2\Delta U^T \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) + \Delta U^T (\Phi^T \Phi + \bar{R}) \Delta U. \quad (14)$$

Из первой производной функции  $J$

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta U} = -2\Phi^T (R_s - Fx(k_i)) + 2(\Phi^T \Phi + \bar{R})\Delta U, \quad (15)$$

необходимое условие минимума  $J$  получим как

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta U} = 0,$$

откуда найдём оптимальное решение для сигнала управления

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i)), \quad (16)$$

полагая, что  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1}$  существует.

В литературе по оптимизации матрица  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1}$  называется матрицей Гессе или гессианом функции.

Обратим внимание, что  $R_s$  – вектор данных, который содержит информацию об уставке и выражается как

$$R_s = \overbrace{[1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1]^T}^{N_p} r(k_i) = \bar{R}_s r(k_i),$$

где

$$\bar{R}_s = \overbrace{[1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1]^T}^{N_p}.$$

Оптимальный сигнал управления связан с  $r(k_i)$  и переменной состояния  $x(k_i)$  уравнением

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (\bar{R}_s r(k_i) - Fx(k_i)). \quad (17)$$

**Пример 2.1.** [87 – 89] Предположим, что система первого порядка описывается уравнением состояния вида

$$\begin{aligned} x_m(k+1) &= ax_m(k) + bu(k), \\ y(k) &= x_m(k), \end{aligned} \quad (18)$$

где  $a = 0,8$  и  $b = 0,1$  – скаляры.

Необходимо:

- а) найти расширенную модель объекта в пространстве состояний;
- б) предполагая, что горизонт прогнозирования задан как  $N_p = 10$ , а горизонт управления – как  $N_c = 4$ , необходимо вычислить компоненты, определяющие прогноз будущего выхода  $Y$ ;
- в) выполнить оценку  $\Phi^T \Phi$ ,  $\Phi^T F$  и  $\Phi^T \bar{R}_s$ ;
- г) полагая, что в момент  $k_i$  (для данного примера примем  $k_i = 10$ ),  $r(k_i) = 1$  и вектор состояния  $x(k_i) = [0,1 \ 0,2]^T$ , необходимо найти оптимальное решение  $\Delta U$  для случаев, соответственно, при  $r_w = 0$  и  $r_w = 10$ ;

д) сравнить результаты, полученные для указанных случаев.

**Решение.** Расширенная модель пространства состояний описывается уравнениями

$$\begin{bmatrix} \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ a & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ b \end{bmatrix} \Delta u(k), \quad (19)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix}.$$

Учитывая (12), матрицы  $F$  и  $\Phi$  принимают вид

$$F = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ CA^4 \\ CA^5 \\ CA^6 \\ CA^7 \\ CA^8 \\ CA^9 \\ CA^{10} \end{bmatrix}$$

и

$$\Phi = \begin{bmatrix} CB & 0 & 0 & 0 \\ CAB & CB & 0 & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & 0 \\ CA^3B & CA^2B & CAB & CB \\ CA^4B & CA^3B & CA^2B & CAB \\ CA^5B & CA^4B & CA^3B & CA^2B \\ CA^6B & CA^5B & CA^4B & CA^3B \\ CA^7B & CA^6B & CA^5B & CA^4B \\ CA^8B & CA^7B & CA^6B & CA^5B \\ CA^9B & CA^8B & CA^7B & CA^6B \end{bmatrix},$$

соответственно.

Коэффициенты в матрицах  $F$  и  $\Phi$  рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} CA &= [s_1 \quad 1], \\ CA^2 &= [s_2 \quad 1], \\ CA^3 &= [s_3 \quad 1], \\ &\vdots \\ CA^k &= [s_k \quad 1], \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
\text{где } s_1 &= a, s_2 = a^2 + s_1, \dots, s_k = a^k + s_{k-1}, \text{ и} \\
CB &= g_0 = b, \\
CAB &= g_1 = ab + g_0, \\
CA^2B &= g_2 = a^2b + g_1, \\
&\vdots \\
CA^{k-1}B &= g_{k-1} = a^{k-1}b + g_{k-2}, \\
CA^k B &= g_k = a^k b + g_{k-1}.
\end{aligned} \tag{21}$$

С заданными параметрами  $a = 0,8$  и  $b = 0,1$ ;  $N_p = 10$  и  $N_c = 4$ , получаем следующие численные значения:

$$\begin{aligned}
\Phi^T \Phi &= \begin{bmatrix} 1.1541 & 1.0407 & 0.9116 & 0.7726 \\ 1.0407 & 0.9549 & 0.8475 & 0.7259 \\ 0.9116 & 0.8475 & 0.7675 & 0.6674 \\ 0.7726 & 0.7259 & 0.6674 & 0.5943 \end{bmatrix}; \\
\Phi^T F &= \begin{bmatrix} 9.2325 & 3.2147 \\ 8.3259 & 2.7684 \\ 7.2927 & 2.3355 \\ 6.1811 & 1.9194 \end{bmatrix}; \\
\Phi^T \bar{R}_s &= \begin{bmatrix} 3.2147 \\ 2.7684 \\ 2.3355 \\ 1.9194 \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

Заметим, что вектор  $\Phi^T \bar{R}_s$  идентичен последнему столбцу матрицы  $\Phi^T F$ . Это является следствием того, что последний столбец матрицы  $F$  идентичен  $\bar{R}_s$ .

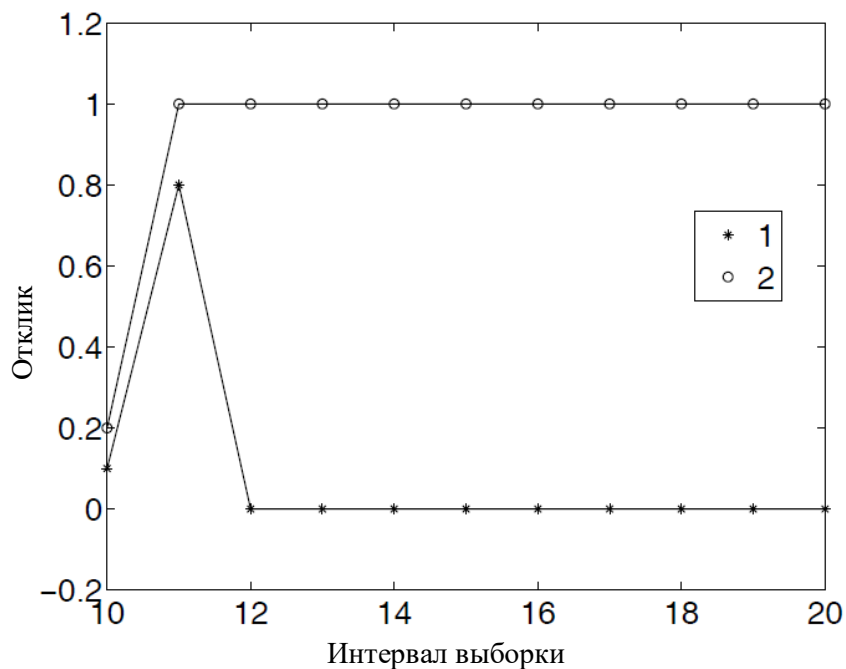
В момент времени  $k_i = 10$  вектор состояния  $x(k_i) = [0, 1, 0, 2]^T$ .

В первом случае, ошибка между прогнозируемыми  $Y$  и  $\bar{R}_s$  уменьшается без учета величины изменений сигнала управления вследствие условия  $r_w = 0$ . Тогда оптимальное  $\Delta U$  может быть найдено через выражение

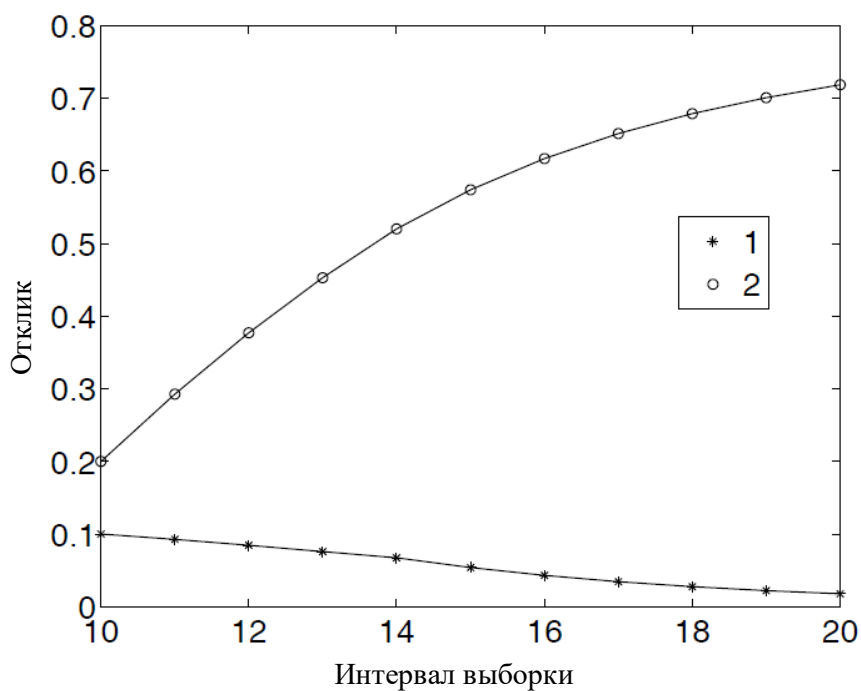
$$\Delta U = (\Phi^T \Phi)^{-1} (\Phi^T \bar{R}_s - \Phi^T F x(k_i)) = [7.2 \quad -6.4 \quad 0 \quad 0]^T.$$

Заметим, что последние два элемента  $\Delta u(k_i + 2) = 0$  и  $\Delta u(k_i + 3) = 0$ , в то время как первые два элемента имеют довольно большую величину.

На рисунке 2.1а показаны изменения переменных состояния, при которых прогнозируемый выход достигает заданной уставки  $y = 1$ , а  $\Delta x_m$  затухает до нулевого значения.



а) переменные состояния без учета  $\Delta u$



б) Переменные состояния с учетом  $\Delta u$

Рисунок 2.1 – Сравнение оптимальных решений: линия 1 соответствует  $\Delta x_m$ ; линия 2 соответствует  $y$ .

Для изучения влияния веса  $r_w$  на оптимальное управление предположим, что  $r_w = 10$ . Оптимальное значение  $\Delta U$  равно

$$\begin{aligned} \Delta U &= (\Phi^T \Phi + 10 \times I)^{-1} (\Phi^T R_s - \Phi^T F x(k_i)) = \\ &= [0.1269 \quad 0.1034 \quad 0.0829 \quad 0.065]^T. \end{aligned} \quad (22)$$

где  $I$  – единичная матрица с размерностью  $4 \times 4$ . При таких значениях величина первых двух приращений управления существенно уменьшается, причем последние две составляющие больше не равны нулю.

На рисунке 2.1б показаны оптимальные переменные состояния. Видно, что выход достиг заданного значения  $y = 1$ , однако  $\Delta x_m$  приближается к нулю.

Сравнительный анализ представленных случаев приводит к следующим наблюдениям. В случае, если мы желаем более “осторожного” движения траектории управления, то сигналу управления необходимо больше времени, чтобы достичь своего устойчивого состояния (т. е. значения в  $\Delta U$  должны уменьшаться медленнее), вследствие того, что оптимальная энергия управления распределяется на более длительном периоде прогнозирования (будущего времени). Это наблюдение может быть проверено путём увеличения  $N_c$  до 9 и сохранения при этом  $r_w = 10$ . Результат показывает, что значения в  $\Delta U$  уменьшаются, но они значимы только для первых 8 элементов:

$$\Delta U^T = \begin{bmatrix} 0.1227 \\ 0.0993 \\ 0.0790 \\ 0.0614 \\ 0.0463 \\ 0.0334 \\ 0.0227 \\ 0.0139 \\ 0.0072 \end{bmatrix}.$$

В сравнении со случаем  $N_c = 4$  можно заметить, что при  $N_c = 9$ , значения первых четырёх параметров в  $\Delta U$  имеют небольшие отличия от таковых в предыдущем случае.

**Пример 2.2.** Существует альтернативный способ поиска минимума целевой функции – с помощью метода дополнения до полного квадрата. Это – интуитивный подход, при использовании которого минимум целевой функции становится его побочным продуктом [90 – 95].

Пусть необходимо найти оптимальное решение для  $\Delta U$ , дополнив квадраты целевого функционала  $J$  (14).

**Решение.** Из (14), путем добавления и вычитания слагаемого

$$(R_s - Fx(k_i))^T \Phi (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i))$$

к исходной функции  $J$  может быть получено



$$\begin{aligned}
J = & (R_s - Fx(k_i))^T (R_s - Fx(k_i)) - \\
& \left[ -2\Delta U^T \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) + \Delta U^T (\Phi^T \Phi + \bar{R}) \Delta U^T \right] + \\
& + \left[ (R_s - Fx(k_i))^T \Phi (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i)) \right] - \\
& - (R_s - Fx(k_i))^T \Phi (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i)),
\end{aligned} \tag{23}$$

где величины в квадратных скобках являются дополненными "квадратами":

$$\begin{aligned}
J_0 = & (\Delta U - (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i)))^T \times \\
& \times (\Phi^T \Phi + \bar{R}) (\Delta U - (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i))).
\end{aligned} \tag{24}$$

Поскольку первый и последний члены в (23) не зависят от переменной  $\Delta U$  (в ряде случаев будем называть её переменной (принятия) решения), а  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})$  предполагается положительно определенным, то минимум функции  $J$  достигается в случае, когда величина  $J_0$  равна нулю, то есть,

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i))^T. \tag{25}$$

Данное решение соответствует оптимальному управлению. Подставляя данное оптимальное решение в функцию (23), получаем минимум:

$$\begin{aligned}
J_{\min} = & (R_s - Fx(k_i))^T (R_s - Fx(k_i)) - \\
& - (R_s - Fx(k_i))^T \Phi (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - Fx(k_i)).
\end{aligned}$$

## 2.3 Синтез прогностических моделей в MATLAB

**Практическое задание 2.** Целью данного задания является создание функции для расчета значений  $\Phi^T \Phi$ ,  $\Phi^T F$  и  $\Phi^T \overline{R_s}$  в среде MATLAB. Основной задачей при этом является синтез матриц  $F$  и  $\Phi$ .

Матрица  $\Phi$  является теплицевой и создается путем определения её первого столбца, затем следующий столбец получается путем сдвига предыдущего столбца.

### Основные шаги:

1. Создайте новый файл с именем *mcsgain.m*.
2. Первым шагом является создание модели расширенного объекта для проектирования СПУМ. Входными параметрами функции являются модели пространства состояний ( $A_p, B_p, C_p$ ), горизонт прогнозирования  $N_p$  и горизонт управления  $N_c$ .

Введите в файл следующий текст программы:

```
function [Phi_Phi, Phi_F, Phi_R, A_e, B_e, C_e]
 =mcsgain (Ap, Bp, Cp, Nc, Np);

[m1, n11]=size(Cp);
[n1, n_in]=size(Bp);
A_e=eye(n1+m1, n1+m1);
A_e(1:n1, 1:n1)=Ap;
A_e(n1+1:n1+m1, 1:n1)=Cp*Ap;
B_e=zeros(n1+m1, n_in);
B_e(1:n1, :)=Bp;
B_e(n1+1:n1+m1, :)=Cp*Bp;
C_zeros(m1, n1+m1);
C_e(:, n1+1:n1+m1)=eye(m1, m1);
```

3. Обратите внимание, что матрицы  $F$  и  $\Phi$  имеют специальные формы.

4. Продолжите ввод следующего текста программы в созданном файле:

```

n=n1+m1;
h(1,:)=C_e;
F(1,:)=C_e*A_e;
for kk=2:Np
h(kk,:)=h(kk-1,:)*A_e;
F(kk,:)=F(kk-1,:)*A_e;
end
v=h*B_e;
Phi=zeros(Np,Nc); %declare the dimension of Phi
Phi(:,1)=v; %first column of Phi
for i=2:Nc
Phi(:,i)=[zeros(i-1,1);v(1:Np-i+1,1)]; %Toeplitz matrix
end
BarRs=ones(Np,1);
Phi_Phi=Phi'*Phi;
Phi_F=Phi'*F;
Phi_R=Phi'*BarRs;

```

5. Введите в рабочем пространстве MATLAB:  $A_p = 0,8$ ;  $B_p = 0,1$ ;  $C_p = 1$ ;  $N_c = 4$  и  $N_p = 10$ . Запустите выполнение данной функции MATLAB, введя:

```
[Phi_Phi,Phi_F,Phi_R,A_e,B_e,C_e]=mpcgain(Ap,Bp,Cp,Nc,Np);
```

6. Сравните результаты с результатами, полученными в примере 2.1. Если они идентичны показанным ранее, то программа работает верно.

7. Изменяя горизонт прогнозирования и горизонт управления, наблюдайте за изменениями в данных матрицах.

8. Вычислите  $\Delta U$ , учитывая начальные условия по  $x$  и  $r$ . Обратная матрица  $M$  может быть вычислена в MATLAB с помощью функции `inv(M)`.

9. Проверьте результаты, полученные в примере 2.1.

## 2.4 Задания для самостоятельной работы

### Задача 2.1.

Предположим, что дискретная по времени система имеет вход  $u(k)$  и выход  $y(k)$ . Система имеет постоянное возмущение  $d$  входного сигнала.

**Необходимо:**

а) Найти расширенную модель пространства состояний с входом  $\Delta u(k)$  и выходом  $y(k)$  для модели системы управления вида

$$x_m(k+1) = A_m x_m(k) + B_m u(k) + B_d d,$$

$$y(k) = C_m x_m(k),$$

$$\text{где } A_m = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1 & -0.1 \\ 0 & 0 & 0.8 \end{bmatrix}; B_m = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1 \\ -0.6 \end{bmatrix}; C_m = [1 \ 0 \ 1]; B_d = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

б) Рассчитать передаточную функцию системы, которая связывает вход  $u(k)$  с выходом  $y(k)$ , и передаточную функцию расширенной модели пространства состояний, которая связывает вход  $\Delta u(k)$  с выходом  $y(k)$ .

в) Сравнить полюса и нули найденных передаточных функций.

### 3 УПРАВЛЕНИЕ С УДАЛЯЮЩИМСЯ ГОРИЗОНТОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Несмотря на то, что вектор оптимальных параметров  $\Delta U$  содержит элементы управления  $\Delta u(k_i)$ ,  $\Delta u(k_i + 1)$ ,  $\Delta u(k_i + 2)$ , ...,  $\Delta u(k_i + N_c - 1)$ , при реализации принципа управления с удаляющимся горизонтом предсказания используется только первый элемент данной последовательности, то есть  $\Delta u(k_i)$ , а остальные элементы последовательности игнорируются. На интервале следующей выборки для вычисления новой последовательности сигнала управления используется результат нового измерения, формируемый вектором состояния  $x(k_i + 1)$ . Данная процедура повторяется в режиме реального времени, обеспечивая работу принципа управления удаляющимся горизонтом предсказания [99 – 103].

**Пример 3.1.** Проиллюстрируем указанную процедуру, продолжая пример 2.1, где в вычислениях используется система первого порядка с описанием пространства состояний вида

$$x_m(k+1) = 0,8x_m(k) + 0,1u(k).$$

Рассмотрим случай, когда  $r_w = 0$ .

Примем начальные условия:  $x(k_i) = [0,1 \ 0,2]^T$  и  $u(9) = 0$ .

**Решение.** На интервале выборки  $k_i = 10$  вычисление оптимального управления дало  $\Delta u(10) = 7,2$ . Предположим, что  $u(9) = 0$ , тогда сигнал управления  $u(10) = u(9) + \Delta u(10) = 7,2$ ; а  $x_m(10) = y(10) = 0,2$ . Вычислим следующую моделируемую переменную состояния:

$$x_m(11) = 0,8x_m(10) + 0,1u(10) = 0,88. \quad (26)$$

При  $k_i = 11$  новые данные  $x_m(11) = 0,88 - 0,2 = 0,68$  и  $y(11) = 0,88$ , формируют  $x(11) = [0,68 \ 0,88]^T$ . После чего получим, что

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi)^{-1} (\Phi^T R_s - \Phi^T F x(11)) = [-4,24 \ -0,96 \ 0 \ 0]^T,$$

откуда получаем оптимальное управление  $u(11) = u(10) + \Delta u(11) = 2,96$ . Этот новый элемент управления используется для получения значения  $x_m(12)$ :

$$x_m(12) = 0,8x_m(11) + 0,1u(11) = 1. \quad (27)$$

При  $k_i = 12$  новой информацией является  $x_m(12) = 1 - 0,88 = 0,12$  и  $y(12) = 1$ , которые формируют  $x(12) = [0,12 \ 0,88]^T$  и, соответственно:

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi)^{-1} (\Phi^T R_s - \Phi^T F x(12)) = [-0,96 \ 0 \ 0 \ 0]^T.$$

Как следствие, получаем, что управление при  $k_i = 12$  имеет вид  $u(12) = u(11) - 0,96 = 2$ . Решая данное уравнение, получим

$$x_m(13) = ax_m(12) + bu(12) = 1. \quad (28)$$

Из новых данных об объекте управления  $\Delta x_m(13) = 1 - 1 = 0$  и  $y(13) = 1$  получим:

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi)^{-1} (\Phi^T R_s - \Phi^T F x(11)) = [0 \ 0 \ 0 \ 0]^T.$$

На рисунке 3.1 показаны траектории изменения переменных состояния  $\Delta x_m$  и  $y$ , а также управляющий сигнал, использовавшийся для регулирования выхода.

Приведённый пример также иллюстрирует различия между векторами параметров  $\Delta U$  в различных промежутках времени.

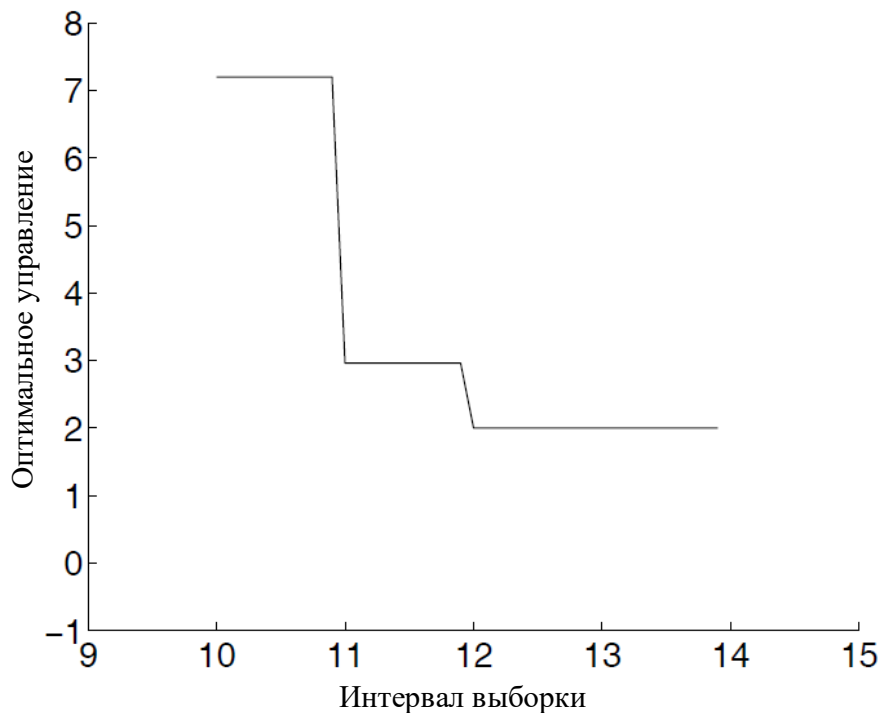
Отметим, что по мере того, как выходной отклик достигает заданной уставки сигнала, параметры в  $\Delta U$  приближаются к нулю.

### 3.1 Система управления с замкнутым контуром

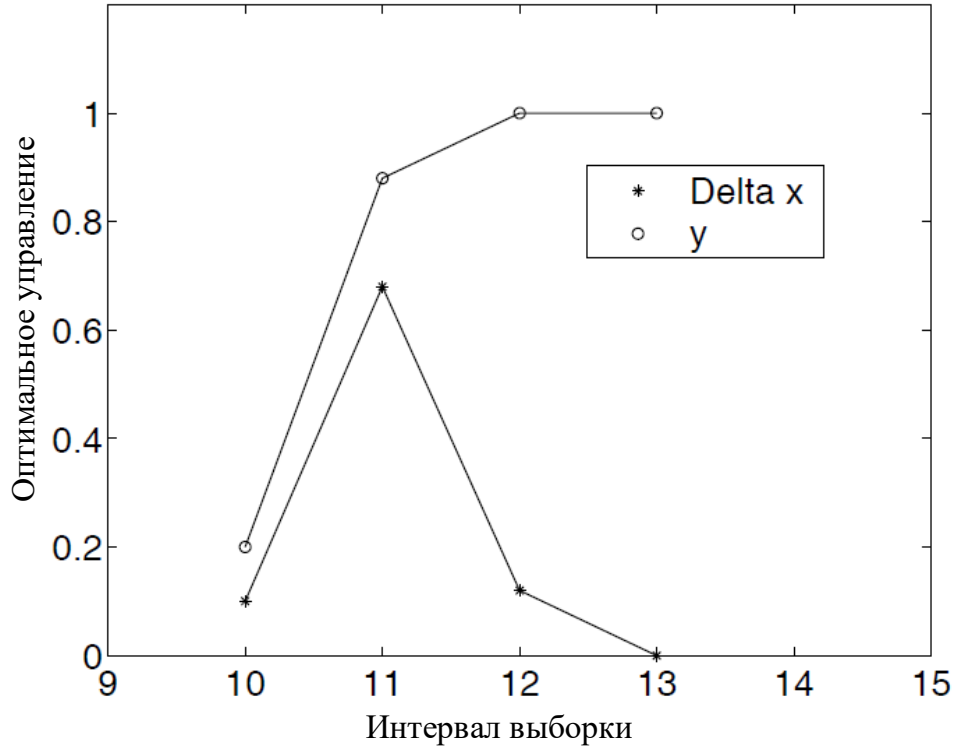
В примере 2.3 был проиллюстрирован ещё один важный аспект исследуемых систем. Если внимательно исследовать указанный пример, то можно обнаружить, что на интервале времени  $k_i$  вектор оптимальных параметров  $\Delta U$  вычисляется с помощью

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T R_s - \Phi^T F x(k_i)),$$

где  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T R_s$  соответствует изменению значения уставки, а  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T F$  соответствует управлению с обратной связью по состоянию в рамках метода прогностического управления, и оба зависят от параметров системы, а следовательно, являются постоянными матрицами для время-инвариантной системы.



а) Оптимальное управление



б) Переменная состояния

Рисунок 3.1 – Управление отступающим горизонтом

Вследствие применения принципа удаляющегося горизонта в момент времени  $k_i$  используется только первый элемент  $\Delta U$ , и, таким образом, имеем

$$\Delta u(k_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^{N_c} (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T \bar{R}_s r(k_i) - \Phi^T F x(k_i)) = \quad (29)$$

$$= K_y r(k_i) - K_{mpc} x(k_i),$$

где  $K_y$  – первый элемент  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T \bar{R}_s$ , а  $K_{mpc}$  является первой строкой  $(\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T F$ .

Уравнение (29) имеет общий вид линейного время-инвариантного управления с обратной связью по состоянию управления, где  $K_{mpc}$  – вектор усиления обратной связи по состоянию. Поэтому с расширенной моделью пространства состояний

$$x(k+1) = Ax(k) + B\Delta u(k),$$

замкнутая система может быть получена путем подстановки (29) в расширенное уравнение системы. Заменив индекс  $k_i$  на  $k$ , получаем уравнение замкнутой системы

$$x(k+1) = Ax(k) - BK_{mpc} x(k) + BK_y r(k) = \quad (30)$$

$$= (A - BK_{mpc})x(k) + BK_y r(k). \quad (31)$$

Таким образом, собственные значения замкнутого контура могут быть вычислены через его характеристическое уравнение вида

$$\det[\lambda I - (A - BK_{mpc})] = 0.$$

Вследствие особенностей структуры матриц  $C$  и  $A$  последний столбец  $F$  совпадает с  $\bar{R}_s$ , имеющим вид  $[1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$ , и как следствие,  $K_y$  идентичен последнему элементу  $K_{mpc}$ .

Заметив, что вектор переменных состояния  $x(k_i) = [\Delta x_m(k)^T \ y(k)]^T$ , и с данным определением  $K_y$  мы можем записать  $K_{mpc} = [K_x \ K_y]$ , где  $K_x$  соответствует вектору усиления обратной связи, связанному с  $\Delta x_m(k)$ , а  $K_y$  – коэффициенту обратной связи, связанному с  $y(k)$ . После этого может быть получена структурная схема замкнутого контура СПУМ, приведённая на рисунке 3.2, где  $q^{-1}$  – оператор обратного сдвига.

На рисунке показана структура обратной связи по состоянию для дискретной модели прогнозирующего управления (ДМПУ) с интегрированием, в которой блок  $\frac{1}{1-q^{-1}}$  представляет дискретный интегратор.

**Пример 3.2.** Необходимо исследовать матрицы коэффициентов обратной связи, полученные в примере 2.1, и собственные значения замкнутой системы с весовыми коэффициентами  $r_w = 0$  и  $r_w = 10$ .

**Решение.** При  $r_w = 0$  имеем

$$K_y = [1 \ 0 \ 0 \ 0](\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1}(\Phi^T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}) = 10,$$

$$K_{mpc} = [1 \ 0 \ 0 \ 0](\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1}(\Phi^T F) = [8 \ 10].$$

Следовательно, собственные значения замкнутой системы вычисляются путем оценки собственных значений замкнутой матрицы  $A - BK_{mpc}$ , где из примера 2.1

$$A = \begin{bmatrix} 0,8 & 0 \\ 0,8 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,1 \end{bmatrix}.$$



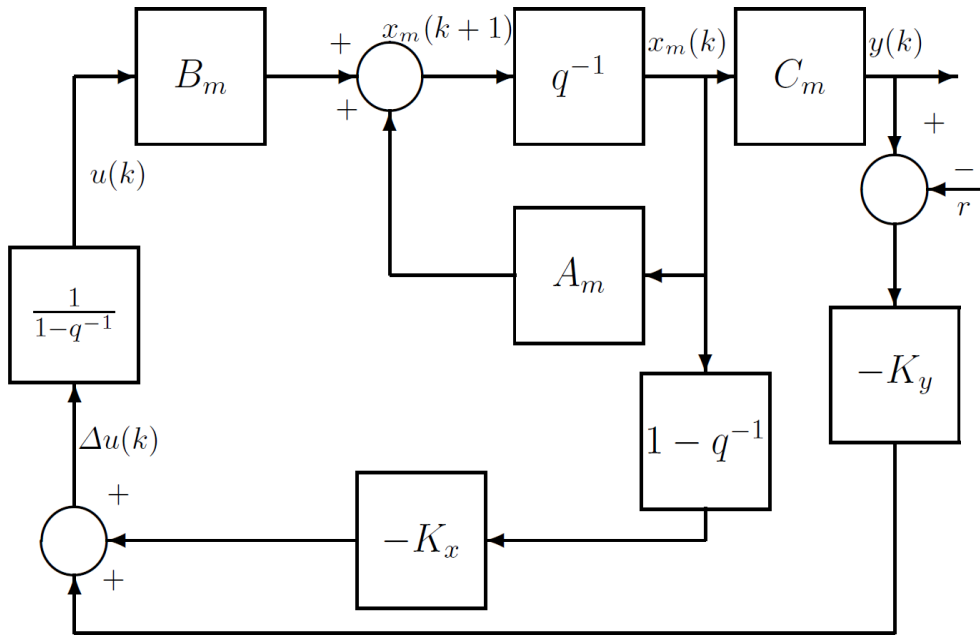


Рисунок 3.2 – Блок-схема системы прогнозирования дискретного времени

Собственные значения соответственно равны  $\lambda_1 = -6.409 \times 10^{-7}$  и  $\lambda_2 = 6.409 \times 10^{-7}$ , и расположены примерно в начале координат на комплексной плоскости.

При  $r_w = 10$  имеем

$$K_y = [1 \ 0 \ 0 \ 0] (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}) = 0,2453;$$

$$K_{mpc} = [1 \ 0 \ 0 \ 0] (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T F) = [0,6939 \ 0,2453].$$

Данному вектору усиления соответствуют собственные значения замкнутой системы  $\lambda_{1,2} = 0,8530 \pm j0,0542$ , что указывает на то, что динамика замкнутой системы изменяется гораздо медленнее, чем в случае, когда  $r_w = 0$ .

**Пример 3.3.** Предположим, что непрерывная по времени система описывается передаточной функцией Лапласа вида

$$G(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + 0.1\omega s + \omega^2},$$

где  $\omega = 10$ .

Данная система приводится к дискретному виду с использованием интервала выборки  $\Delta t = 0,01$ .

Необходимо изучить изменение чувствительности при выборе проектных параметров для  $N_c = 3, N_p = 20$  и  $200; \bar{R} = 0,5I$ .

**Решение.** Используем приведенный ниже скрипт функции MATLAB для получения непрерывной модели пространства состояния:

```
omega=10;
numc=omega^2;
denc=[1 0.1*omega omega^2];
[Ac, Bc, Cc, Dc]=tf2ss(numc, denc);
```

Далее, следуя методике, приведённой в практическом задании 1.1, получаем дискретно-временную модель пространства состояния.

Расширенное уравнение пространства состояния с дискретным временем примет вид

$$\begin{aligned}x(k+1) &= Ax(k) + B\Delta u(k), \\ y(k) &= Cx(k),\end{aligned}$$

где

$$A = \begin{bmatrix} 0.9851 & -0.9934 & 0 \\ 0.0099 & 0.9950 & 0 \\ 0.9934 & 99.5021 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.0099 \\ 0 \\ 0.0050 \end{bmatrix};$$

$$C = [0 \ 0 \ 1].$$

Во-первых, рассмотрим влияние горизонта прогнозирования на значения  $\Delta U$ .

Предположим, что в момент выборки  $k=10$  начальное условие  $x(10) = [0,1 \ 0,2 \ 0,3]^T$ .

Для  $N_p = 20$  равно  $\Delta U = [-144,9984 \ -65,4710 \ 1,2037]^T$ .

Используя принцип удаляющегося горизонта, находим коэффициенты усиления обратной связи  $K_{trc} = [45,4168 \ 705,6132 \ 0,9513]$ .

Собственные значения замкнутой системы составляют  $0,6974; 0,8959 \pm 0,1429j$ . Однако, для  $N_p = 200$ ,  $\Delta U = [-645,5885 \ -0,4664 \ 629,0276]^T$ .

Как видно, по сравнению с предыдущим случаем, где был применён более короткий удаляющийся горизонт  $N_p = 20$ , вектор параметров  $\Delta U$  изменился значительно.

Опять же, для коэффициентов усиления  $K_{\text{трс}} = [80,6 \quad 3190 \quad 0,79]$ , собственные значения замкнутой системы равны  $0,9749; 0,5207 \pm j0,2919$ .

Это сравнительное исследование показало существование чувствительности к выбору горизонта прогнозирования.

При более тщательном рассмотрении может быть замечено, что матрица Гессе

$$\Phi^T \Phi + \bar{R}$$

является функцией горизонта прогнозирования.

Например, для  $N_p = 20$

$$\Phi^T \Phi = \begin{bmatrix} 9,8796 & 8,9387 & 8,0099 \\ 8,9387 & 8,1020 & 7,2737 \\ 8,0099 & 7,2737 & 6,5425 \end{bmatrix},$$

с номером условия  $\kappa(\Phi^T \Phi + 0,5I) = 49,98$ .

Однако, при  $N_p = 200$ ,

$$\Phi^T \Phi = \begin{bmatrix} 236,0557 & 235,5010 & 234,5466 \\ 235,5010 & 235,3753 & 234,8473 \\ 234,5466 & 234,8473 & 234,7473 \end{bmatrix},$$

при  $\kappa(\Phi^T \Phi + 0,5I) = 1410$ .

Как видно, значение  $\kappa(\Phi^T \Phi + 0,5I)$  значительно увеличивается по мере увеличения горизонта прогнозирования  $N_p$  до 200. Это большое число состояний матрицы Гессе для длинного горизонта прогнозирования приводит к количественной чувствительности, которая вызывает значительное различие в результатах, полученных для случая короткого и длинного горизонта прогнозирования.

С короткими горизонтами прогнозирования и управления замкнутая система прогнозирующего управления не обязательно устойчива, и традиционно данные параметры используются для обеспечения устойчивости и заданных параметров качества в замкнутой системе.

Далее будет предложен подход, который использует большие горизонты прогнозирования и управления для обеспечения устойчивости в замкнутой системе.

## 3.2 Моделирование систем управления с удаляющимся горизонтом в MATLAB

**Практическое задание 3.** Целью задания является получение навыков проектирования системы прогнозирования с использованием управления с удаляющимся горизонтом.

Модель пространства состояния задана в виде

$$\begin{aligned}x_m(k+1) &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x_m(k) + \begin{bmatrix} 0,5 \\ 1 \end{bmatrix} u(k), \\ y(k) &= [1 \quad 0] x_m(k).\end{aligned}\tag{32}$$

**Основные шаги:**

1. Создайте новый файл программы с именем `gcd.m`
2. Прежде всего необходимо определить объект управления, ввести значения параметров горизонта прогнозирования и горизонта управления. Объект представляет собой систему с двойным интегратором (32). Горизонт управления выбирается равным  $N_c = 4$ , а горизонт прогноза  $N_p = 20$ .

Введите в файл следующий текст программы:

```
Ap=[1 1;0 1];
Bp=[0.5;1];
Cp=[1 0];
Dp=0;
Np=20;
Nc=4;
```

3. Программа вызывает функцию `tcsgain.m` для генерации необходимых матриц усиления и определяет начальные условия для реализации управления с удаляющимся горизонтом.

Начальное значение переменной состояния для объекта управления равно  $x_m=0$ ; а переменная начальное значение переменной состояния обратной связи равно  $x_f=0$ ; далее задаётся уставка сигнала и указывается количество точек моделирования, равное 100.

4. Продолжите ввод следующего текста программы:

```

[Phi_Phi,Phi_F,Phi_R,A_e, B_e,C_e]
 = mcsgain (Ap,Bp,Cp,Nc,Np) ;

[n,n_in]=size(B_e);
xm=[0;0];
Xf=zeros(n,1);
N_sim=100;
r=ones(N_sim,1);
u=0; % u(k-1) =0
y=0;

```

5. Согласно методу управления с удаляющимся горизонтом в момент времени  $kk$  вектор  $\Delta U$  рассчитывается с использованием заданного сигнала  $r(kk)$  и вектора состояния  $Xf$ . Затем  $\Delta u(kk)$  берётся как первый элемент  $\Delta U$ ; и  $u(kk) = u(kk - 1) + \Delta u(k)$ .

Весовой коэффициент выбирается равным 0,1.

6. Продолжайте вводить следующий текст программы:

```

for kk=1:N_sim;
DeltaU=inv (Phi_Phi+0.1*eye (Nc,Nc)) * (Phi_R*r(kk) -
 Phi_F*Xf);
deltau=DeltaU(1,1);
u=u+deltau;
u1(kk)=u;
y1(kk)=y;

```

7. Состояние и мощность установки моделируются с использованием генерируемого управляющего сигнала; переменная состояния, используемая в механизме обратной связи, обновляется как  $Xf$ .

8. Продолжайте вводить в файл следующую программу:

```

xm_old=xm;
xm=Ap*xm+Bp*u;
y=Cp*xm;
Xf=[xm-xm_old;y];
end

```

10. Введите в файл следующий текст программы:

```
k=0:(N_sim-1);
figure
subplot(211)
plot(k, y1)
xlabel('Sampling Instant')
legend('Output')
subplot(212)
plot(k, u1)
xlabel('Sampling Instant')
legend('Control')
```

*Входные и выходные сигналы строятся относительно выборок.*

*11. Сохраните программу в той же папке, которая содержит функцию. Запустите программу.*

*12. Измените вес  $r_w$  на 2 и обратите внимание, что при замкнутом контуре скорость отклика медленнее.*

*13. Смоделируйте свой собственный объект, используя различные  $A_p$ ,  $B_p$  и  $C_p$ , и проведите эксперименты с различными величинами горизонтов прогнозирования и управления.*

### 3.3 Задания для самостоятельной работы

#### Задача 3.1.

Пусть расширенная математическая модель дискретной системы определена как

$$x(k+1) = Ax(k) + B\Delta u(k)$$

$$y(k) = Cx(k),$$

$$\text{где } A = \begin{bmatrix} 0.6 & 0 \\ 0.6 & 1 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix}; C = [0 \quad 1].$$

**Необходимо:**

- а) Для момента времени  $k_i = 0$ , предполагая, что горизонт управления  $N_c = 4$ ,  $N_p = 10$  и начальное значение переменной состояния  $x(0) = [0, 1 \quad 0, 2]^T$ , записать решение прогнозируемого выхода

$$y(k_i + 1 | k_i), y(k_i + 2 | k_i), \dots, y(k_i + N_p | k_i)$$

через  $\Delta U$ , где

$$\Delta U = [\Delta u(k_i) \quad \Delta u(k_i + 1) \quad \Delta u(k_i + 2) \quad \Delta u(k_i + 3)]^T.$$

- б) Для заданной уставки  $r(k_i) = 0$ , найти оптимальное управление  $\Delta U$ , минимизирующее целевую функцию

$$J = Y^T Y + \Delta U^T \bar{R} \Delta U,$$

где  $\bar{R}$  – диагональная матрица ( $\bar{R} = r_\omega I$ ,  $r_\omega = 3$  и  $I$  – тождественная матрица  $4 \times 4$ ). Каков минимум функции стоимости,  $J_{\min}$ ?

- в) Уменьшайте  $r_\omega$  до 0, наблюдая за изменениями оптимального управления  $\Delta U$ .
- г) Сравните значение  $J_{\min}$  для случая  $r_\omega = 0$ , со значением из предыдущего случая  $r_\omega = 3$ .

#### Задача 3.2.

Модель первого порядка часто используется для описания динамики резервуара с жидкостью, где вход системы – это скорость потока, а выход – уровень жидкости (рисунок 3.3).

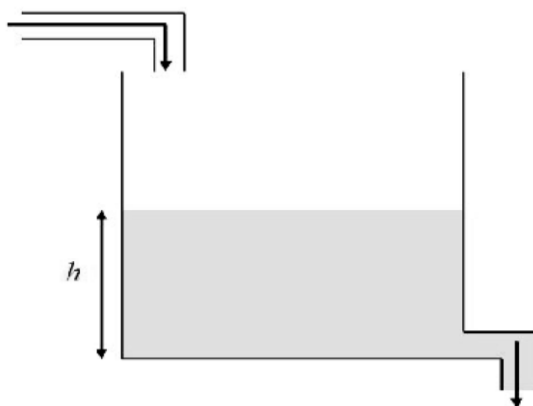


Рисунок 3.3 – Контроль уровня жидкости в резервуаре

Предположим, что для данной системы получена дискретная передаточная функция первого порядка, описывающая связь между входом и выходом, вида

$$Y(z) = \frac{0,01}{z - 0,6} U(z)$$

**Необходимо:**

- а) Выбрав  $x_m(k) = h(k) = y(k)$ , преобразовать модель передаточной функции в модель пространства состояний и спроектировать модель прогнозирующей системы управления, которая будет поддерживать уровень жидкости на заданном уровне  $r(k) = 0,5$ . Расчетные параметры системы прогнозирующего управления определяются как  $N_c = 4$ ,  $N_p = 16$ ,  $\bar{R} = I$ .
- б) При начальном условии  $x(0) = [0 \ 0]^T$  смоделируйте замкнутую систему прогнозирующего управления, используя управление с удаляющимся горизонтом. (Подсказка: переменные состояния  $x_1(k) = y(k) - y(k - 1)$  и  $x_2(k) = y(k)$ . Обе – измеримы)



### Задача 3.3.

Временная задержка в дискретной системе появляется как часть знаменателя передаточной функции. Следовательно, число задержек увеличит размерность модели пространства состояний. Предположим, что дискретная система описывается передаточной функцией  $z$

$$G(z) = \frac{0,1z^{-5}}{1 - 1,4z^{-1} + 0,48z^{-2}}.$$

Это система с временной задержкой. Альтернативное представление этой передаточной функции

$$G(z) = \frac{0,1}{z^3(z^2 - 1,4z + 0,48)},$$

указывает на то, что система имеет пятый порядок (число полюсов определяет порядок модели). Модель пространства состояний для этой передаточной функции

$$x_m(k+1) = A_m x_m(k) + B_m u(k)$$

$$y(k) = C_m x_m(k)$$

$$\text{где } A_m = \begin{bmatrix} 1.4 & -0.48 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; B_m = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; C_m = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.1].$$

#### Необходимо:

1. Создать прогнозирующую систему управления, которая будет отслеживать опорный сигнал шага. Для достижения ступенчатой реакции этой системы требуется около 20 выборок, чтобы достичь устойчивого состояния. Предполагая, что отклик замкнутой системы будет быстрее, чем отклик разомкнутой, выберите горизонт прогнозирования  $N_p = 16$  и горизонт управления  $N_c = 4$ . Выбор весовой матрицы  $\bar{R}$  может быть связан с выбором  $N_p$  и  $N_c$ . Здесь выберите  $\bar{R} = r_\omega I$  и  $r_\omega = 0,01$ . Для большего диагонального элемента  $r_\omega$  в  $\bar{R}$ , горизонт прогнозирования может быть больше.
2. При выборе параметров проектирования вычислите коэффициент усиления обратной связи системы прогнозирующего управления и собственные числа замкнутой системы.
3. С нулевым начальным условием при  $x(0)$  и входным сигналом единичного шага в момент  $k = 0$  смоделируйте реакцию замкнутой системы, как было показано в примере главы.

## 4 УПРАВЛЕНИЕ С ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛЬЮ В МИМО-СИСТЕМАХ

В предыдущем разделе для простоты иллюстрации СУПМ была разработана на основе системы с одним входом и одним выходом. Данная Представленная методология проектирования может быть легко расширена на МИМО-системы. Такая простота обобщения связана с применением описания пространства состояния.

### 4.1 Общее описание модели

Предположим, что объект управления имеет  $m$  входов,  $q$  выходов и  $n_l$  параметров состояния.

Предположим также, что количество выходов меньше или равно количеству входов (т. е.  $q \leq m$ ).

Если количество выходов будет превышать количество входов, будет утрачена возможность независимого управления каждым из измеренных выходов с нулевыми статическими ошибками.

В общей формулировке проблемы прогнозирующего управления примем также во внимание шум и помехи:

$$x_m(k+1) = A_m x_m(k) + B_m u(k) + B_d \omega(k), \quad (33)$$

$$y(k) = C_m x_m(k), \quad (34)$$

где  $\omega(k)$  – возмущение входа, относительно которого предполагается, что оно является последовательностью интегрированного белого шума. Это подразумевает, что входное возмущение  $\omega(k)$  связано с нулевым средним последовательности белого шума  $\epsilon(k)$  через разностное уравнение

$$\omega(k) - \omega(k-1) = \epsilon(k). \quad (35)$$

Заметим, что из (33) справедливо также следующее разностное уравнение:

$$x_m(k) = A_m x_m(k-1) + B_m u(k-1) + B_d \omega(k-1). \quad (36)$$

Определив  $\Delta x_m = x_m(k) - x_m(k-1)$  и  $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ , вычитание (36) из (33) приводит к

$$\Delta x_m(k+1) = A_m \Delta x_m(k) + B_m \Delta u(k) + B_d \epsilon(k). \quad (37)$$

Чтобы связать выход  $y(k)$  с переменной состояния  $\Delta x_m(k)$ , выведем, что

$$\Delta y(k+1) = C_m \Delta x_m(k+1) = C_m A_m \Delta x_m(k) + C_m B_m \Delta u(k) + C_m B_d \epsilon(k),$$

где  $\Delta y(k+1) = y(k+1) - y(k)$ .

Выбирая новый вектор переменных состояния  $x(k) = [\Delta x_m(k)^T \ y(k)^T]^T$ , имеем

$$\begin{bmatrix} \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_m & o_m^T \\ C_m A_m & I_{q \times q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_m \\ C_m B_m \end{bmatrix} \Delta u(k) + \begin{bmatrix} B_d \\ C_m B_d \end{bmatrix} \in(k), \quad (38)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} o_m & I_{q \times q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix},$$

где  $I_{q \times q}$  – единичная матрица размерности  $q \times q$ , то есть число выходов;  $o_m$  – нулевая матрица  $q \times n_1$ .

В (38)  $A_m$ ,  $B_m$  и  $C_m$  имеют размерность  $n_1 \times n_1$ ,  $n_1 \times m$  и  $q \times n_1$  соответственно.

Для простоты изложения запишем (38) в виде

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + B\Delta u(k) + B_\epsilon \in(k), \\ y(k) &= Cx(k), \end{aligned} \quad (39)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  – матрицы, соответствующие формам, приведенным в (38).

В дальнейшем размерность расширенного уравнения пространства состояния принимается равной  $n = n_1 + q$ .

Здесь присутствуют два важных момента, которым необходимо уделить отдельное внимание. Первый связан с собственными значениями расширенной модели. Второй момент связан с реализацией модели пространства состояния. Оба этих момента помогут в понимании описываемой модели.

#### 4.2 Собственные значения расширенной модели

Заметим, что характеристическое полиномиальное уравнение расширенной модели имеет вид

$$p(\lambda) = \det \begin{bmatrix} \lambda I - A_m & o_m^T \\ -C_m A_m & (\lambda - 1)I_{q \times q} \end{bmatrix} = (\lambda - 1)^q \det(\lambda I - A_m) = 0, \quad (40)$$

где было использовано свойство равенства определителя блока нижней треугольной матрицы и произведения определителей матриц на диагонали. Следовательно, собственные значения расширенной модели являются объединением собственных значений модели объекта и  $q$  собственных значений  $\lambda = 1$ . Это означает, что существует  $q$  интеграторов, встроенных в синтезируемую расширенную модель.

Данный подход используется нами для получения интегральных свойств СУПМ.

#### 4.3 Управляемость и наблюдаемость расширенной модели

Поскольку исходная модель объекта дополнена интеграторами и СУПМ проектируется на основе расширенной модели пространства состояния, с точки зрения проектирования системы управления является

важным, что расширенная модель не становится неуправляемой или ненаблюдаемой, особенно в случае неустойчивых динамик системы.

Управляемость является показателем того, что система прогнозирующего управления способна достичь требуемых характеристик управления в замкнутой системе.

Наблюдаемость является свидетельством правильного проектирования наблюдателя.

Однако в случаях, когда основным требованием является устойчивость замкнутой системы, условия могут быть ослаблены до требования стабилизируемости и детектируемости.

Система *стабилизуема*, если ее неуправляемые моды – если таковые имеются – являются устойчивыми. Её управляемые моды могут быть устойчивыми или неустойчивыми.

Система *детектируема*, если ее ненаблюдаемые моды – если таковые имеются, – устойчивы. Её наблюдаемые моды могут быть стабильными или нестабильными.

Под устойчивыми модами здесь понимается, что соответствующие собственные значения находятся строго внутри единичного круга.

Далее (если не специально не указано иного), для достижения желаемых характеристик в замкнутой системе, по умолчанию требуется, чтобы модель была как управляемой, так и наблюдаемой.

В разделе 4.5 приведён пример, иллюстрирующий важность наблюдаемости при разработке наблюдателя.

Поскольку расширенная модель вводит дополнительные интегральные моды, необходимо исследовать, при каких условиях данные дополнительные моды становятся управляемыми. Самый простой способ исследования основан на предположении минимальной реализации модели объекта.

**Определение.** Реализация передаточной функции  $G(z)$  является любым триплетным пространством состояний  $(A, B, C)$  таким, что  $G(z) = C(zI - A)^{-1}B$ . Если такое множество  $(A, B, C)$  существует, то  $G(z)$  называется реализуемой. Реализация  $(A, B, C)$  называется минимальной реализацией передаточной функции, если никакая другая реализация меньшего размера триплета не существует.

Минимальная реализация имеет отличительную особенность, обобщенную в теореме ниже.

**Теорема 4.1.** Минимальная реализация обладает свойствами управляемости и наблюдаемости [86 – 88].

С помощью данной теоремы покажем условия, при которых через факт минимальной реализации расширенная модель является управляемой и наблюдаемой.

**Теорема 4.2.** Предположим, что модель объекта  $(A_m, B_m, C_m)$  управляема и наблюдаема с передаточной функцией  $G_m(z)$  с минимальной реализацией, где

$$G_m(z) = C_m(zI - A_m)^{-1}B_m.$$

Тогда передаточная функция проектируемой расширенной модели (39) имеет вид

$$G(z) = \frac{z}{z-1}G_m(z), \quad (41)$$

и одновременно управляема и наблюдаема тогда и только тогда, когда модель объекта  $G_m(z)$  не имеет нуля при  $z=1$ .

Нулями передаточной функции ММО-системы являются те значения  $z$ , которые обеспечивают потерю ранга матрицы  $G_m(z)$ .

**Доказательство.** Чтобы доказать, что расширенная модель управляема и наблюдаема, необходимо показать, что (41) верно. После этого результаты следуют из минимальной структуры расширенной модели без исключения полюса. Заметим, что для заданной квадратной матрицы  $M$  с блочной структурой

$$M = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix},$$

если  $A_{11}^{-1}$  и  $A_{22}^{-1}$  существуют, то

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11}^{-1} & 0 \\ -A_{22}^{-1}A_{21}A_{11}^{-1} & A_{22}^{-1} \end{bmatrix}. \quad (42)$$

Используя (42), получим

$$G(z) = C(zI - A)^{-1}B, \quad (43)$$

где

$$(zI - A)^{-1} = \begin{bmatrix} (zI_m - A_m)^{-1} & 0 \\ (1 - z^{-1})C_m A_m (zI_m - A_m)^{-1} & (1 - z^{-1})I_q \end{bmatrix}.$$

Подставляя в (39) матрицы  $B$  и  $C$ , из (41) получаем передаточную функцию расширенной модели. В предположении, что модель объекта  $G_m(z)$  не имеет нуля при  $z=1$  и имеет минимальную реализацию, передаточная функция расширенной модели имеет минимальную структуру из (41), поэтому она управляема и наблюдаема.

Для системы с одним входом и одним выходом, в случае если один из нулей передаточной функции находится в точке  $z=1$ , расширенная модель является неуправляемой. Например, если

$$G_m(z) = \frac{(z-1)}{(z-0,6)(z-0,8)},$$

то будет отмена полюса в  $G_m(z)$ , что даёт

$$G_m(z) = \frac{z}{z-1} \frac{(z-1)}{(z-0,6)(z-0,8)}.$$

В случае с одним входом и одним выходом установившийся коэффициент усиления модели объекта равен нулю и не допускает интегрального управления.

Подчеркнем, что количество входов больше или равно количеству выходов ( $m \geq q$ ). Когда количество входов меньше, чем количество выходов, расширенные интегральные моды могут стать неуправляемыми.

При использовании MATLAB минимальная реализация модели пространства состояний достигается за счет сокращения порядка модели. Например, для дискретной передаточной функции

$$G_m(z) = \frac{(z-0,1)}{(z-0,1)(z-0,9)},$$

наблюдается отмена полюса при  $z=0,1$ . Одна из реализаций модели пространства состояний на основе  $G_m(z)$  с использованием функции MATLAB (`tf2ss.m`) имеет две переменных состояния:

$$A_m = \begin{bmatrix} 1 & -0,09 \\ 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$B_m = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$C_m = [1 \quad -0,1].$$

Это не является минимальной реализацией, так как соответствующая передаточная функция имеет исключение полюсов. Для получения минимальной реализации пространства состояний, в качестве иллюстративного примера может быть использована следующая программа MATLAB:

```
numd=[1 -0.1];
dend=conv([1 -0.1],[1 -0.9]);
sys1=tf(numd,dend);
sys=ss(sys1,'min');
[Am,Bm,Cm,Dm]=ssdata(sys);
```

Минимальная реализация, полученная путём уменьшения порядка модели, имеет вид

$$A_m = 0,9;$$

$$B_m = -0,9806;$$

$$C_m = -1,0198,$$

и имеет только одну переменную состояния, как и ожидалось в рассматриваемом примере для минимальной реализации.

#### 4.4 Расчёт прогнозирующего управления для ММО-систем

Расширение решения прогнозирующего управления довольно простое, и мы должны обратить внимание на размеры состояния, управления и вывода векторов в среде с множеством входных и множеством выходных данных. Определим векторы  $Y$  и  $\Delta U$  как

$$\Delta U = \left[ \Delta u(k_i)^T \quad \Delta u(k_i + 1)^T \quad \dots \quad \Delta u(k_i + N_c - 1)^T \right]^T,$$

$$Y = \left[ y(k_i + 1 | k_i)^T \quad y(k_i + 2 | k_i)^T \quad y(k_i + 3 | k_i)^T \quad \dots \quad y(k_i + N_p | k_i)^T \right]^T.$$

На основе модели пространства состояния  $(A, B, C)$  вычисляются будущие переменные состояния, последовательно используя набор будущих параметров управления

$$x(k_i + 1 | k_i) = Ax(k_i) + B\Delta u(k_i) + B_d \varepsilon(k_i),$$

$$x(k_i + 2 | k_i) = Ax(k_i + 1 | k_i) + B\Delta u(k_i + 1) + B_d \varepsilon(k_i + 1 | k_i) =$$

$$= A^2 x(k_i) + AB\Delta u(k_i) + B\Delta u(k_i + 1) + AB_d \varepsilon(k_i) + B_d \varepsilon(k_i + 1 | k_i),$$

...

$$x(k_i + N_p | k_i) = A^{N_p} x(k_i) + A^{N_p-1} B\Delta u(k_i) + A^{N_p-2} B\Delta u(k_i + 1) +$$

$$+ A^{N_p-N_c} B\Delta u(k_i + N_c - 1) + A^{N_p-1} B_d \varepsilon(k_i) +$$

$$+ A^{N_p-2} B_d \varepsilon(k_i + 1 | k_i) + \dots + B_d \varepsilon(k_i + N_p - 1 | k_i).$$

Предполагая, что  $\varepsilon(k)$  представляет собой нулевую среднюю последовательность белого шума, предсказанное значение  $\varepsilon(k_i + i | k_i)$  в будущей выборке  $i$  считаем нулевым.

Прогнозирование переменной состояния и переменной выхода рассчитываются как ожидаемые значения соответствующих переменных. Следовательно, эффект шума для прогнозируемых значений равен нулю.

Фактически, имеем

$$Y = Fx(k_i) + \Phi \Delta U, \tag{44}$$

где

$$F = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ \dots \\ CA^{N_p} \end{bmatrix};$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} CB & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CAB & CB & 0 & \dots & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ CA^{N_p-1}B & CA^{N_p-2}B & CA^{N_p-3}B & \dots & CA^{N_p-N_c}B \end{bmatrix}.$$

Инкрементное оптимальное управление в одном окне оптимизации задается формулой

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T \bar{R}_s r(k_i) - \Phi^T F x(k_i)), \quad (45)$$

где матрица  $\Phi^T \Phi$  имеет размерность  $mN_c \times mN_c$ ;  $\Phi^T F$  имеет размерность  $mN_c \times n$ , а  $\Phi^T \bar{R}_s$  состоит из последних  $q$  столбцов  $\Phi^T F$ . Весовая матрица  $\bar{R}$  является блочной с  $t$  блоками и имеет размерность, равную размерности  $\Phi^T F$ . Сигналы уставки заданы как  $r(k_i) = [r_1(k_i) \ r_2(k_i) \ \dots \ r_q(k_i)]^T$  в виде  $q$  сигналов в системе с множеством выходов.

Исходя из принципа управления с удаляющимся горизонтом, первые  $t$  элементов в  $\Delta U$  используются для формирования инкрементного оптимального управления вида

$$\begin{aligned} \Delta u(k_i) &= \overbrace{[I_m \ o_m \ \dots \ o_m]}^{N_c} (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T \bar{R}_s r(k_i) - \Phi^T F x(k_i)) = \\ &= K_y r(k_i) - K_{mpc} x(k_i), \end{aligned} \quad (46)$$

где  $I_m$  и  $o_m$  соответственно являются единичной и нулевой матрицей с размерностью  $t \times t$ .

#### 4.5 Наблюдатель состояния

При разработке регуляторов с прогнозирующей моделью нами было принято допущение, что информация  $x(k_i)$  доступна в момент  $k_i$ . Это предполагает, что все переменные состояния измеримы. В действительности, в большинстве приложений не все переменные состояния измеримы (или доступны). Некоторые из них невозможно измерить.

Один из подходов в таком случае состоит в выборе переменных состояния, соответствующих входу и выходу, используя специальную



реализацию пространства состояний, и альтернативой является оценка переменной состояния  $x(k)$  из измерения процесса.

«Мягкий» инструмент, используемый для оценки неизвестных переменных состояния на основе процесса измерения, в контексте управления называется наблюдателем.

Концепция наблюдателя широко используется в различных областях науки и техники. А в условиях шумной внешней среды наблюдатель состояния может выполнять функции фильтра, уменьшая влияние шума на измерения.

Нашей целью далее является демонстрация возможности применения наблюдателя при проектировании систем прогнозирующего управления.

#### 4.6 Основы теории наблюдателей

Наблюдатель построен на основе математической модели объекта. Например, предположим, что модель пространства состояния объекта имеет вид

$$x_m(k+1) = A_m x_m(k) + B_m u(k). \quad (47)$$

Далее данная модель может быть использована для вычисления переменной состояния  $\hat{x}_m(k)$ ,  $k=1,2,\dots$ , с начальным условием состояния  $\hat{x}_m(0)$  и входным сигналом  $u(k)$  как

$$\hat{x}_m(k+1) = A_m \hat{x}_m(k) + B_m u(k). \quad (48)$$

Данный подход, по факту, начинает работать после некоторого переходного времени, если модель объекта устойчива и предположение, сделанное выше о начальном состоянии, почти верно.

Какие проблемы могут возникнуть при данном типе подхода? В своей основе он представляет прогнозирование в разомкнутой системе. Ошибка  $\tilde{x}_m(k) = x_m(k) - \hat{x}_m(k)$  удовлетворяет разностному уравнению

$$\tilde{x}_m(k+1) = A_m (x_m(k) - \hat{x}_m(k)) = A_m \tilde{x}_m(k). \quad (49)$$

Для заданной начальной ошибки  $\tilde{x}_m(0) \neq 0$  имеем

$$\tilde{x}_m(k) = A_m^k \tilde{x}_m(0). \quad (50)$$

Здесь необходимо рассмотреть два аспекта:

- 1) Если  $A_m$  имеет все собственные значения внутри единичного круга, то система ошибок (50) устойчива и  $\|\tilde{x}_m(k)\| \rightarrow 0$  при  $k \rightarrow \infty$ , что означает, что наблюдаемая переменная состояния  $\hat{x}_m(k)$  сходится к  $x_m(k)$ .

Однако, если  $A_m$  имеет одно или несколько собственных значений вне единичного круга, то ошибка системы (50) неустойчива и  $\|\tilde{x}_m(k)\| \rightarrow \infty$  при  $k \rightarrow \infty$ , что означает, что прогноз  $\hat{x}_m(k)$  не сходится к  $x_m(k)$ .

Если  $A_m$  имеет одно или несколько собственных значений на единичной окружности, состояние ошибок  $\|\tilde{x}_m(k)\|$  не сходится к нулю.

2) В случае устойчивой модели объекта  $A_m$  мы не имеем «контроль» над скоростью сходимости ошибки  $\|\tilde{x}_m(k)\| \rightarrow 0$ , зависящей от расположения полюсов модели объекта. А именно, если полюса объекта близки к началу координат комплексной плоскости, то ошибка сходится с высокой скоростью к нулю; в противном случае скорость сходимости может быть медленной.

Вопрос заключается в том, как улучшить наблюдение  $x_m(k)$ . Решение состоит в применении обратной связи, где повышение точности наблюдения обеспечивается с помощью сигнала ошибки наблюдения.

Пусть наблюдатель построен с использованием уравнения

$$\hat{x}_m(k+1) = \overbrace{A_m \hat{x}_m(k) + B_m u(k)}^{\text{model}} + \overbrace{K_{ob}(y(k) - C_m \hat{x}_m(k))}^{\text{correction term}}, \quad (51)$$

где  $K_{ob}$  – матрица усиления наблюдателя.

В модели наблюдателя наблюдение переменной состояния  $\hat{x}_m(k+1)$  состоит из двух слагаемых. Первым является исходная модель, а второе слагаемое – поправочный член, зависящий от ошибки между измеренным и прогнозируемым выходом, рассчитанной с помощью наблюдения  $\hat{x}_m(k)$ .

Для выбора коэффициента усиления наблюдателя  $K_{ob}$  рассмотрим уравнение ошибки замкнутого контура. Подставляя  $y(k) = C_m x_m(k)$  в (51), с ошибкой состояния  $\tilde{x}_m(k) = x_m(k) - \hat{x}_m(k)$ , получаем, что

$$\tilde{x}_m(k+1) = A_m \tilde{x}_m(k) - K_{ob} C_m \tilde{x}_m(k) = (A_m - K_{ob} C_m) \tilde{x}_m(k). \quad (52)$$

Теперь, с заданной начальной ошибкой  $\tilde{x}_m(0)$ , имеем

$$\tilde{x}_m(k) = (A_m - K_{ob} C_m)^k \tilde{x}_m(0). \quad (53)$$

Сравнивая отклик ошибки наблюдателя, заданный (53), с прогнозом в разомкнутом контуре (50), нетрудно заметить, что усиление наблюдателя  $K_{ob}$  может быть использовано для управления скоростью сходимости ошибки.

Если объект имеет только один выход, то применяется широко используемый подход, который состоит в том, чтобы поместить собственные значения ошибки матрицы  $A_m - K_{ob} C_m$  разомкнутой системы в нужных координатах комплексной плоскости.

В следующем примере показано, как может быть выбран коэффициент усиления наблюдателя  $K_{ob}$ .

**Пример 4.1.** Рассмотрим линеаризованное уравнение движения простого маятника

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = u, \quad (54)$$

где  $\theta$  – угол отклонения маятника.

Необходимо спроектировать наблюдатель, который будет выполнять оценку угла отклонения маятника для заданных измерений  $\frac{d\theta}{dt}$ .

Предположим, что  $\omega = 2$  рад/сек и интервал выборки  $\Delta t = 0,1$  сек. Выбранные полюса наблюдателя равны 0,1 и 0,2.

Необходимо сравнить оценку в разомкнутом контуре с оценкой, полученной с помощью наблюдателя.

**Решение.** Пусть  $x_1(t) = \theta$  и  $x_2(t) = \dot{\theta}$ . Учитывая уравнение движения (54), соответствующая модель пространства состояния имеет вид

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t), \\ y(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (55)$$

При  $\omega = 2$  рад/сек и интервале выборки равном  $\Delta t = 0,1$  сек, дискретная модель пространства состояния имеет вид

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9801 & 0,0993 \\ -0,3973 & 0,9801 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0050 \\ 0,09930 \end{bmatrix} u(k), \quad (56)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix}. \quad (57)$$

Прежде всего, выясним, что даст реализация наблюдения за углом отклонения  $\theta(x_1)$  только на базе колебательной модели.

Предположим, что входной сигнал  $u(k) = 0$  и начальные условия переменных состояния равны соответственно  $\theta(0) = x_1(0) = 1$  и  $\dot{\theta}(0) = x_2(0) = 0$ . Траектории движения как для  $\theta$ , так и для  $\dot{\theta}$  показаны на рисунке 4.1а. Оба сигнала синусоидальны.

Предположим теперь, что начальные условия переменных состояния заданы как  $\hat{x}_1(0) = 0,3$  и  $\hat{x}_2(0) = 0$ . Рассчитанные с помощью модели пространства состояний (48) оценки  $\theta$  и  $\dot{\theta}$  показаны на рисунке 4.1а, на фоне действительной траектории.

Видно, что оценка  $\theta$ , обозначенная как  $\hat{x}_1$ , не близка к действительной  $\theta$  (верхний график рисунка 4.1а).

Данное исследование показало, что использование только модели объекта недостаточно для прогнозирования угла отклонения маятника.

Теперь спроектируем и реализуем наблюдатель угла маятника. Предположим, что коэффициент усиления наблюдателя  $K_{ob} = [j_1 \ j_2]^T$ .

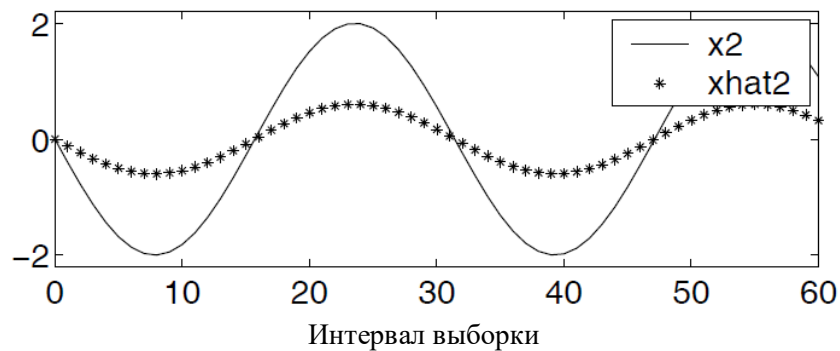
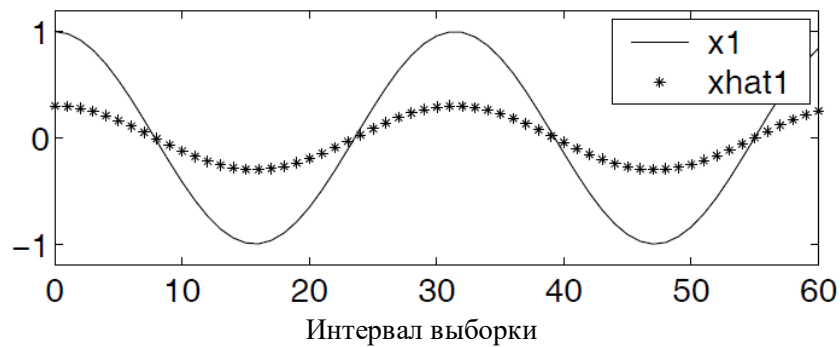
Характеристический полином замкнутой системы для наблюдателя имеет вид

$$\det \left( \lambda I - \begin{bmatrix} 0,9801 & 0,0993 - j_1 \\ -0,3973 & 0,9801 - j_2 \end{bmatrix} \right) =$$

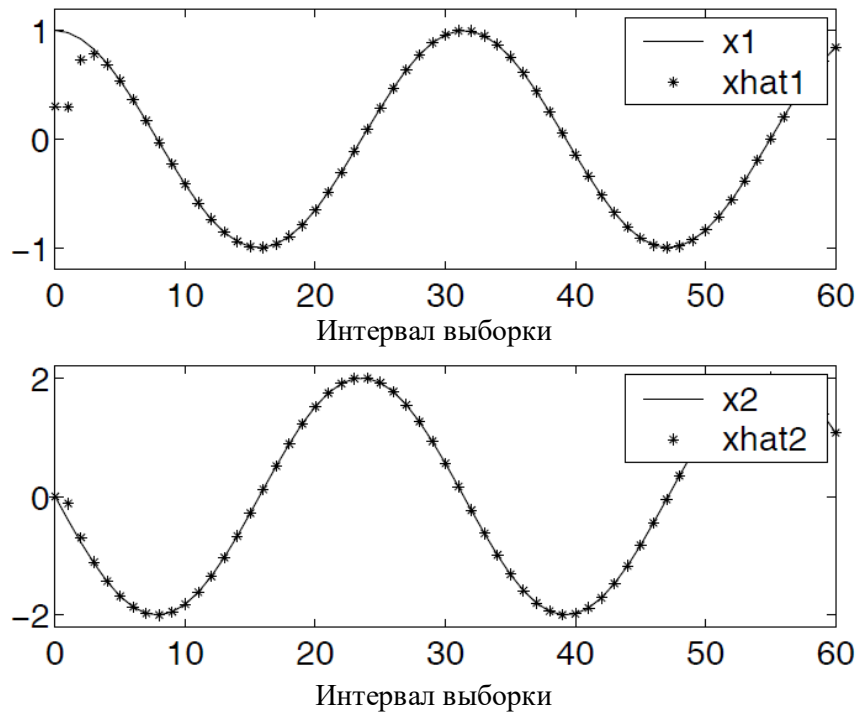
$$= (\lambda - 0,9801)(\lambda + j_2 - 0,9801) - 0,3973 \times (j_1 - 0,0993),$$

и принят равным желаемому характеристическому полиному замкнутой системы  $(\lambda - 0,1)(\lambda - 0,2)$ , то есть,

$$(\lambda - 0,9801)(\lambda + j_2 - 0,9801) - 0,3973 \times (j_1 - 0,0993) = (\lambda - 0,1)(\lambda - 0,2).$$



а) Оценка без наблюдателя



б) Оценка с наблюдателем

Рисунок 4.1 – Результаты наблюдения за траекторией маятника [102]

Решение полиномиального уравнения дает коэффициент усиления наблюдателя  $j_1 = -1,6284$  и  $j_2 = 1,6601$ .

Оценка угла выполняется с использованием уравнения наблюдателя вида

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1(k+1) \\ \hat{x}_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9801 & 0.0993 \\ -0.3973 & 0.9801 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1(k) \\ \hat{x}_2(k) \end{bmatrix} + K_{ob}(x_2(k) - \hat{x}_2(k)), \quad (58)$$

с начальным условием  $\hat{x}_1(0) = 0,3$  и  $\hat{x}_2(0) = 0$ .

На рисунке 4.1б показано, что наблюдаемый угол сходится к истинному углу примерно за три шага.

#### 4.7 Определение наблюдаемости

Модель переменной состояния динамической системы называется полностью наблюдаемой, если для любого времени выборки  $k_0$  существует время выборки  $k_1 > k_0$  такое, что знание выхода  $y(k)$  и входа  $u(k)$  во временном интервале  $k_0 \leq k \leq k_1$  достаточно для определения начального состояния  $x_m(k_0)$  и, как следствие,  $x_m(k)$ , для всех  $k$  между  $k_0$  и  $k_1$ .

Необходимое и достаточное условия полной наблюдаемости линейной дискретной по времени системы выполняются, если матрица наблюдаемости

$$L_0 = \begin{bmatrix} C_m \\ C_m A_m \\ C_m A_m^2 \\ \vdots \\ C_m A_m^{n-1} \end{bmatrix}$$

имеет ранг  $n$ , где  $n$  – размерность модели переменных состояния.

**Пример 4.2.** Двигатель постоянного тока может быть описан моделью второго порядка с интегратором и одной постоянной времени (рисунок 4.2).

Входным сигналом является напряжение питания двигателя, а выходным – положение вала.

Постоянная времени соответствует механической части системы.

Динамикой, обусловленной электрическими контурами двигателя, пренебрегается, поскольку они имеют малые постоянные времени.

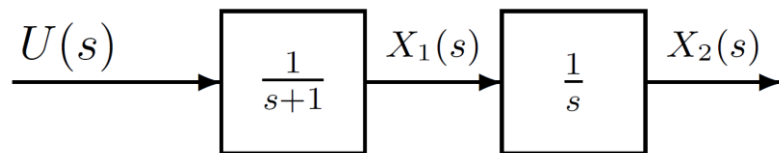


Рисунок 4.2 – Модель двигателя постоянного тока

Приняв за переменную  $x_1$  угловую скорость, а за  $x_2$  – угловое положение вала двигателя, получим уравнение пространства состояний для непрерывного времени

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t). \quad (59)$$

Предполагая, что скорость вращения вала доступна для измерения, получим

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}.$$

Модель дискретизируется с интервалом выборки  $\Delta t = 0,1$ , в результате чего получаем

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9048 & 0 \\ 0.0952 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0952 \\ 0.0048 \end{bmatrix} u(k), \quad (60)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix}.$$

Убедимся, что модель дискретного времени (60) не является наблюдаемой, и, как следствие, система наблюдателей с замкнутым контуром имеет полюс в 1.

**Решение.** Система с разомкнутым контуром имеет собственные значения в 0,9048 и 1. Матрица наблюдаемости

$$L_o = \begin{bmatrix} C_m \\ C_m A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.9048 & 0 \end{bmatrix},$$

где  $\det(L_o) = 0$ .

Таким образом, пара  $(C_m, A_m)$  не является наблюдаемой.

Исследуем данный пример, чтобы узнать последствия ненаблюдаемости системы.

Предположим, что  $K_{ob} = [j_1 \ j_2]^T$ . Тогда ошибка наблюдателя замкнутой системы имеет вид

$$\tilde{x}(k+1) = \left[ \begin{bmatrix} 0.9048 & 0 \\ 0.0952 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} j_1 \\ j_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \right] \tilde{x}(k). \quad (61)$$

Предположим, что мы принимаем искомые собственные значения системы наблюдателей равными 0,1 и 0,2 (мы также называем собственные значения системы наблюдателей замкнутыми полюсами наблюдателя).

Тогда характеристический полином замкнутой системы равен

$$\det \begin{bmatrix} \lambda - 0,9048 + j_1 & 0 \\ -0,0952 & \lambda - 1 \end{bmatrix} = (\lambda - 0,9048 + j_1)(\lambda - 1). \quad (62)$$

При синтезе наблюдателя было принято, что фактический характеристический полином замкнутой системы равен желаемому характеристическому полиному замкнутой системы, откуда был вычислен вектор коэффициентов усиления наблюдателя. В данном случае мы получили бы

$$(\lambda - 0,9048 + j_1)(\lambda - 1) = (\lambda - 0,1)(\lambda - 0,2).$$

Заметим, что второй полюс при  $\lambda = 1$  в (62) не может быть перемещен независимо от того, какой выбор мы сделаем для  $j_2$ , просто потому, что полюс замкнутой системы не зависит от коэффициента усиления наблюдателя.

Это является следствием отсутствия наблюдаемости пары  $(C_m, A_m)$ . Если полюс, который нельзя изменить с помощью наблюдателя, асимптотически устойчив, то система не наблюдаема, однако она детектируема.

В данном конкретном примере ненаблюдаемый полюс находится на единичном круге, поэтому система даже не детектируема.

Таким образом, если мы измеряем угловую скорость вала двигателя, то по данному измерению нельзя точно оценить угловое положение вала двигателя.

#### 4.8 Фильтр Калмана

Если пара  $(A_m, C_m)$  наблюдаема, то в рассмотренном случае системы с одним выходом для определения  $K_{ob}$  может быть использована стратегия расположения полюсов таким образом, что собственные значения наблюдателя (то есть матрицы  $A_m - K_{ob}C_m$ ) имеют желаемое расположение.

Для системы с множеством выходов  $K_{ob}$  может быть вычислен рекурсивно с использованием фильтра Калмана.

Фильтры Калмана рассматриваются далее в стохастической постановке. Положим, что

$$\begin{aligned} x_m(k+1) &= A_m x_m(k) + B_m u(k) + d(k), \\ y(k) &= C_m x_m(k) + \xi(k), \end{aligned} \quad (63)$$

где ковариационные матрицы  $d$  и  $\xi$  соответственно определяются как

$$\begin{aligned} E\{d(k)d(\tau)^T\} &= \Theta \delta(k - \tau), \\ E\{\xi(k)\xi(\tau)^T\} &= \Gamma \delta(k - \tau), \end{aligned}$$

где  $\delta(k - \tau) = 1$ , если  $k = \tau$  и  $\delta(k - \tau) = 0$ , если  $k \neq \tau$ .

Оптимальный коэффициент усиления  $K_{ob}$  наблюдателя определяется рекурсивно для  $i = 0, 1, \dots$  через

$$K_{ob}(i) = A_m P(i) C_m^T (\Gamma + C_m P(i) C_m^T)^{-1} \quad (64)$$

и

$$P(i+1) = A_m \{P(i) - P(i) C_m^T (\Gamma + C_m P(i) C_m^T)^{-1} C_m P(i)\} A_m^T + \Theta. \quad (65)$$

Точнее,  $P(0)$  удовлетворяет условию

$$E\{[x(0) - \hat{x}(0)][x(0) - \hat{x}(0)]^T\} = P(0).$$

Предполагая, что система  $(A_m, C_m)$  детектируема по выходу  $y(k)$  (то есть нет неустойчивых состояний, отклик которых не может быть «замечен» на выходе) и  $(A_m, \theta^{1/2})$  стабилизируемо, то, при  $k \rightarrow \infty$ , установившиеся решения (64) и (65) удовлетворяют алгебраическому дискретному уравнению Риккати

$$P(\infty) = A_m \{P(\infty) - P(\infty) C_m^T (\Gamma + C_m P(\infty) C_m^T)^{-1} C_m P(\infty)\} A_m^T + \Theta, \quad (66)$$

и

$$K_{ob}(\infty) = A_m P(\infty) C_m^T (\Gamma + C_m P(\infty) C_m^T)^{-1}. \quad (67)$$

Кроме того, собственные значения  $A_m - K_{ob}(\infty)C_m$  гарантированно находятся внутри единичного круга (то есть устойчивы).

Во избежание путаницы подчеркнём, что в реальном времени итерационное решение уравнения Риккати (65) искать не требуется. В приложениях СУПМ коэффициент усиления наблюдателя рассчитывается автономно (не в режиме реального времени).



#### 4.9 Настройка динамики наблюдателя

Во многих случаях ковариационные матрицы  $\theta$  и  $\Gamma$ , соответствующие характеристикам возмущений, неизвестны. Таким образом, на практике  $\theta$ ,  $\Gamma$  и начальное  $P(0)$  выбираются для вычисления коэффициента усиления наблюдателя с помощью итерационного решения уравнения Риккати, выполняемого до тех пор, пока решение не сойдется к постоянной матрице. Затем полученная замкнутая система анализируется относительно: расположения собственных значений, содержащихся в  $A_m - K_{ob}C_m$ ; переходной характеристики наблюдателя; робастности и влияния шума на характеристику.

Элементы ковариационной матрицы изменяются до тех пор, пока не будет получен желаемый результат. Такая процедура проб и ошибок может занимать длительное время, неудобна и, таким образом, является одной из проблем, с которыми мы сталкиваемся при использовании многомерной системы на базе фильтра Калмана. Однако в некоторых случаях можно указать область, в которой должны находиться полюса замкнутой системы ошибок наблюдателя, и применить это в решении.

Рассмотрим простой подход, имеющий аналогию с классическим подходом Андерсона и Мура [112 – 113], в котором полюсы наблюдателей с замкнутым контуром назначаются внутри окружности с заданным радиусом  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ). Приведем ниже краткое изложение данной процедуры.

Пусть ошибка наблюдаемого состояния  $\tilde{x}(k) = x(k) - \hat{x}(k)$ . Тогда система ошибок наблюдателя имеет вид

$$\tilde{x}(k+1) = (A_m - K_{ob}C_m)\tilde{x}(k). \quad (68)$$

Выполним преобразование  $\hat{A}_m = \frac{A_m}{\alpha}$  и  $\hat{C}_m = \frac{C_m}{\alpha}$ , где  $0 < \alpha < 1$ , что приводит к преобразованной системе вида

$$\tilde{x}_t(k+1) = \frac{1}{\alpha}(A_m - \hat{K}_{ob}C_m)\tilde{x}_t(k) = (\hat{A}_m - \hat{K}_{ob}\hat{C}_m)\tilde{x}_t(k). \quad (69)$$

Решение итерационных уравнений (64) и (65) или стационарного уравнения Риккати (66), с использованием  $\hat{A}_m$  и  $\hat{C}_m$  для замены матриц  $A_m$  и  $C_m$ , обеспечивает нахождение собственных чисел  $\hat{A}_m - \hat{K}_{ob}(\infty)\hat{C}_m$  внутри единичного круга (то есть устойчиво).

Полученный коэффициент усиления наблюдателя  $\hat{K}_{ob}$  затем применяется к исходной системе наблюдателей (68), что приводит к характеристическому уравнению замкнутой системы вида

$$\det(zI - (A_m - \hat{K}_{ob}C_m)) = \det(zI - (\hat{A}_m - \hat{K}_{ob}\hat{C}_m)) \cdot \alpha = 0. \quad (70)$$

Таким образом, собственные значения  $(A_m - \hat{K}_{ob}C_m)$  равны собственным значениям  $\hat{A}_m - \hat{K}_{ob}\hat{C}_m$ , умноженным на коэффициент  $\alpha$ , что

обеспечивает нахождение собственных значений системы ошибок наблюдателя с  $\hat{K}_{ob}$  внутри круга радиуса  $\alpha$ .

Данная процедура через выбор  $\alpha$  обеспечивает прямую связь с динамикой наблюдателя. Процедура проб и ошибок может быть сокращена до выбора подходящих  $\alpha$ ,  $\theta$  и  $\Gamma$ , для достижения желаемых характеристик в данной замкнутой системе.

#### 4.10 Прогнозирующее управление с оценкой состояния в MATLAB

При реализации прогнозирующего управления, наблюдатель используется в случаях, когда переменная состояния  $x(k_i)$  в момент времени  $k_i$  недоступна для измерения. В общем, переменная состояния  $x(k_i)$  оценивается с помощью наблюдателя вида

$$\hat{x}(k_i + 1) = A\hat{x}(k_i) + B\Delta u(k_i) + K_{ob}(y(k_i) - C\hat{x}(k_i)). \quad (71)$$

Обратим внимание, что при реализации прогнозирующего управления с использованием наблюдателя сигнал управления равен  $\Delta u(k_i)$ , а матрицы  $(A, B, C)$  следуют из расширенной модели, используемой при проектировании СУПМ.

Полученное наблюдение  $\hat{x}(k_i)$ , заменяющее  $x(k_i)$ , используется в модифицированном законе прогнозирующего управления для вычисления  $\Delta U$ , путем минимизации

$$J = (R_s - F\hat{x}(k_i))^T (\bar{R}_s r(k_i) - F\hat{x}(k_i)) - 2\Delta U^T \Phi^T (R_s - F\hat{x}(k_i)) + \Delta U^T (\Phi^T \Phi + \bar{R}) \Delta U, \quad (72)$$

где  $\bar{R}_s$ ,  $F$ ,  $\Phi$ ,  $\bar{R}$  и  $\Delta U$  были определены в (44) и (45).

Оптимальное решение  $\Delta U$  имеем в виде

$$\Delta U = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} \Phi^T (R_s - F\hat{x}(k_i)). \quad (73)$$

Кроме того, применение принципа управления с удаляющимся горизонтом приводит к оптимальному решению  $\Delta u(k_i)$  в момент времени  $k_i$ , вида

$$\Delta u(k_i) = K_y r(k_i) - K_{mpc} \hat{x}(k_i), \quad (74)$$

который является стандартным законом управления с обратной связью с наблюдением  $x(k_i)$ .

Структура замкнутой системы с обратной связью по состоянию показана на рисунке 4.3.

Остаются вопросы касательно характеристического уравнения замкнутой системы и, следовательно, собственных значений замкнутой системы. Чтобы исследовать данные вопросы, запишем уравнение пространства состояний замкнутой системы вида

$$x(k+1) = Ax(k) + B\Delta u(k) = Ax(k) + BK_y r(k) - BK_{mpc} \hat{x}(k), \quad (75)$$

где  $\Delta u(k)$  заменено на (74).

Обратим внимание, что уравнение ошибки наблюдателя в замкнутой системе

$$\tilde{x}(k+1) = (A - K_{ob}C)\tilde{x}(k), \quad (76)$$

где  $\tilde{x}(k) = x(k) - \hat{x}(k)$ .

После замены  $\hat{x}(k)$  на  $x(k) - \tilde{x}(k)$  уравнение (75) может быть записано как

$$x(k+1) = (A - BK_{mpc})x(k) - BK_{mpc}\tilde{x}(k) + BK_y r(k). \quad (77)$$

Для (76) и (77) получаем

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(k+1) \\ x(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - K_{ob}C & o_{n \times n} \\ -BK_{mpc} & A - BK_{mpc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}(k) \\ x(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} o_{n \times m} \\ BK_y \end{bmatrix} r(k), \quad (78)$$

где  $o_{n \times n}$  – нулевая матрица  $n \times n$ , а  $o_{n \times m}$  – нулевая матрица  $n \times m$ .

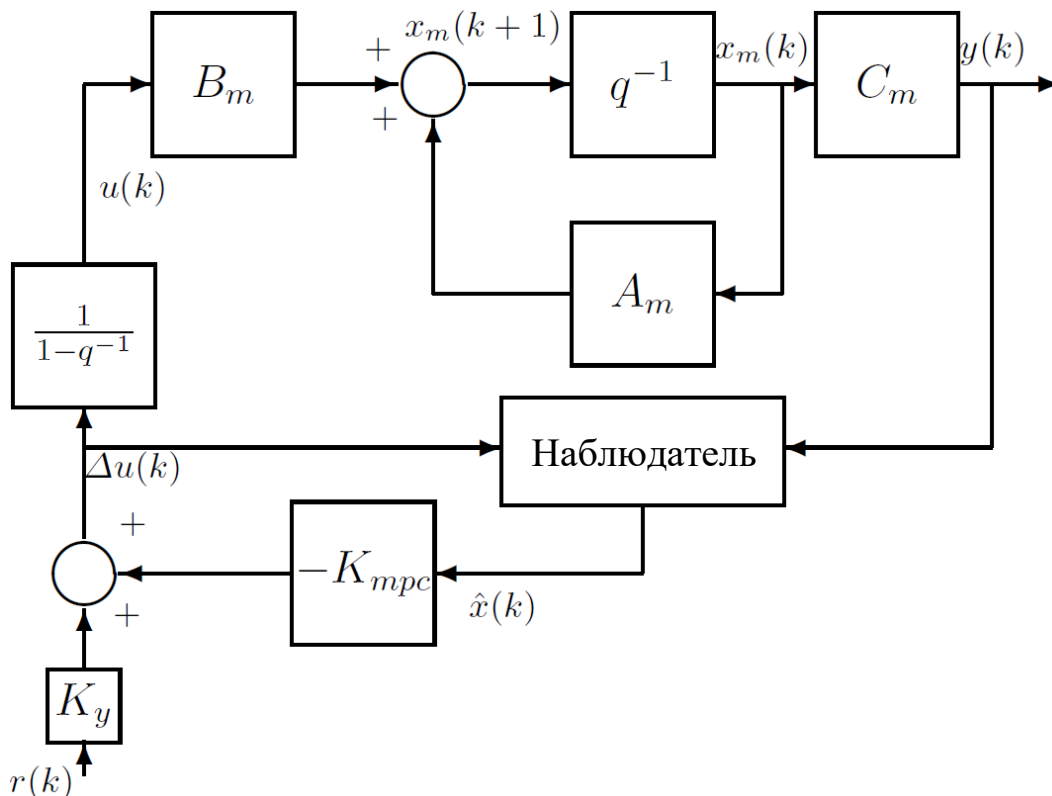


Рисунок 4.3 – Структурная схема прогнозирующей модели дискретной системы управления с наблюдателем

Характеристическое уравнение пространства состояний замкнутой системы определяется как

$$\det \left[ \lambda I - \begin{bmatrix} A - K_{ob}C & o_{n \times n} \\ -BK_{mpc} & A - BK_{mpc} \end{bmatrix} \right] = 0,$$

что эквивалентно

$$\det(\lambda I - (A - K_{ob}C)) \det(\lambda I - (A - BK_{mpc})) = 0,$$

так как системная матрица в (78) имеет более низкую блочную треугольную структуру. Фактически это означает, что замкнутая система прогнозирующего управления с оценкой состояния имеет два независимых характеристических уравнения:

$$\det(\lambda I - (A - K_{ob}C)) = 0, \quad (79)$$

$$\det(\lambda I - (A - BK_{mpc})) = 0. \quad (80)$$

Так как собственные числа замкнутой системы являются решениями характеристических уравнений, (79) и (80) показывают, что множество собственных чисел комбинированной замкнутой системы состоит из собственных чисел прогнозирующей системы управления и собственных чисел наблюдателя. Это означает, что законы прогностического управления и наблюдателя могут работать независимо (или отдельно друг от друга), и, в то же время, если они используются совместно, то собственные значения остаются неизменными.

**Пример 4.3.** Пусть, расширенная модель системы с двумя интеграторами (см. пример 1.1) имеет вид [102 – 103]

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + B\Delta u(k), \\ y(k) &= Cx(k), \end{aligned} \quad (81)$$

$$\text{где } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 1 \\ 0,5 \end{bmatrix}; C = [0 \quad 0 \quad 1].$$

Необходимо разработать систему прогнозирующего управления с наблюдателем состояния и смоделировать реакцию замкнутой системы на изменение уставки.

Примем исходные данные:  $N_c = 5$ ,  $N_p = 30$ , весовой коэффициент сигнала управления  $r_w = 10$ .

Наблюдатель синтезируется с использованием метода назначения полюсов, где полюсы наблюдателя замкнутой системы равны 0,01; 0,0105; 0,011, что соответствует быстрому динамическому отклику наблюдателя.

**Решение.** Разомкнутая система имеет три собственных значения, равных 1, два из которых определяются системой с двумя интеграторами и один – структурой прогнозирующего регулятора.

Используем команду MATLAB 'place' и введём текст программы MATLAB, синтезирующей вектор коэффициента усиления наблюдателя  $K_{ob}$ .

```
Pole=[0.01 0.0105 0.011];
K_ob=place(A',C',Pole)';
```

где  $A'$ ,  $C'$  – транспонированные матрицы  $A^T$  и  $C^T$ .

Транспонирование необходимо вследствие того, что программа MATLAB 'place' была написана для проектирования регулятора. Используя данную программу, мы используем двойственную связь между регулятором и наблюдателем.

Результурующий коэффициент усиления наблюдателя

$$K_{ob} = [1,9685 \quad 0,9688 \quad 2,9685]^T.$$

При указанном наборе параметров качества коэффициент усиления обратной связи по состоянию составляет  $K_{прс} = [0,8984 \quad 1,3521 \quad 0,4039]$ , что фактически дает набор собственных значений замкнутой системы, при  $0,3172 \pm j0,4089$  и  $0,3624$ .

На рисунке 4.4 показана реакция замкнутой системы на ступенчатое изменение уставки. Как можно видеть, выходной сигнал замкнутой системы следует за изменением заданного значения, а сигнал управления стремится к нулю, так как в системе присутствуют интеграторы.

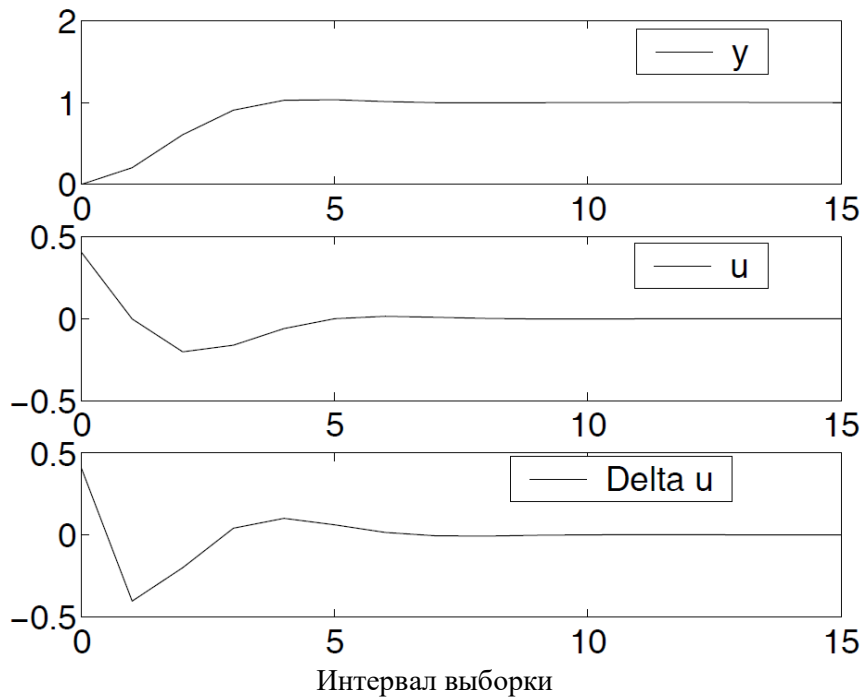


Рисунок 4.3 – Прогнозирующая система управления с двойным интегратором

## 4.11 Задания для самостоятельной работы

### Задача 4.1.

Сигнал дискретного времени  $f_0(k) = \beta(k - 10)^2$  искажается белым шумом  $\epsilon(k)$ , где  $\beta$  неизвестно.

**Необходимо:**

Синтезировать наблюдатель, оценивающий неизвестный коэффициент  $\beta$  из измерения шума  $f(k) = f_0(k) + \epsilon(k)$ .

Полюсы замкнутой системы наблюдателя располагаются на  $0,1$ ;  $0,15$ ;  $0,2$ .

Подсказка: примите

$$x_1(k) = \beta(k - 10)^2; x_2(k) = \beta(k - 10); x_3(k) = \beta.$$

### **Задача 4.2.**

Слабо демпфированная механическая система описана передаточной функцией  $G(s)$  модели непрерывного времени, где

$$G(s) = \frac{0,1}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2},$$

с коэффициентом затухания  $\xi = 0,001$  и  $\omega_0 = 1$ .

**Необходимо:**

а) Получить дискретную передаточную функцию с интервалом дискретизации  $\Delta t = 0,5$ .

б) Создать прогнозирующую систему управления с наблюдателем, обеспечивающую компенсацию постоянного возмущения на входе и обработку ступенчатого изменения уставки с нулевой статической ошибкой.

Поскольку система с разомкнутым контуром недостаточно демпфирована, то есть имеет слабозатухающие колебания, то для достижения желаемого качества требуются большие горизонты прогнозирования и управления.

Выберите горизонт прогнозирования  $N_p = 60$ , а горизонт управления  $N_c = 20$ .

Весовая матрица  $\bar{R} = r_\omega I$ , при  $r_\omega = 0.1$ .

Полюсы наблюдателя располагаются на  $0,1; 0,2; 0,3$ .

в) Смоделировать работу замкнутой системы управления при единичном ступенчатом изменении уставки на входе, при  $k = 0$ , и ступенчатом единичном входном возмущении, при  $k = 100$ .

### **Задача 4.3.**

*Важным вопросом проектирования является взаимное влияние робастности системы прогнозирующего управления и неучтенной динамики системы.*

#### **Необходимо:**

- а) Без изменения системы прогнозирующего управления ввести время запаздывания трёх выборок в передаточную функцию системы  $G(z)$  в задаче 4.2.*
- б) Смоделировать и исследовать качество замкнутой системы с условиями, идентичными указанным в задании а).*
- в) Выяснить, устойчива ли замкнутая система прогнозирующего управления? Если нет, необходимо вернуться к исходной задаче 4.2 и увеличивать  $r_w$  весовой матрицы до тех пор, пока замкнутая система не станет устойчивой. Проанализируйте свои наблюдения.*



#### **Задача 4.4.**

Убедитесь, что модель пространства состояний двигателя постоянного тока является наблюдаемой, когда положение вала двигателя принимается за измерение и уравнение пространства состояний имеет вид

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9048 & 0 \\ 0.0952 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0952 \\ 0.0048 \end{bmatrix} u(k),$$
$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix},$$

где  $x_1$  – скорость, а  $x_2$  – положение вала двигателя.

**Необходимо:**

- а) Расширить дискретную модель системы интегратором и проверить управляемость и наблюдаемость расширенной модели.
- б) Приняв  $N_p = 10$ ,  $N_c = 4$ , и  $\bar{R} = 0,1I$ , вычислить матрицы коэффициентов усиления  $K_y$  и  $K_{mpc}$  для прогнозирующей системы управления.  
Где собственные значения замкнутой системы?
- в) Спроектировать наблюдатель, располагая полюсы наблюдателя замкнутой системы в  $0,1$ ;  $0,2$  и  $0,3$ .
- г) Смоделировать прогнозирующую систему управления оценкой состояния, используя заданное значение сигнала  $r(k) = 2$  для всех  $k$ . После этого создайте входное падение напряжения путем добавления константы  $d = -0,5$  управляющего сигнала при  $k = 20$ , и смоделируйте, как система прогнозирующего управления отклоняет возмущения и поддерживает на выходе заданное  $r = 2$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Решение линейных матричных неравенств (ЛМН)

В данном разделе приводится краткое введение по линейным матричным неравенствам, широко использовавшиеся для решения проблем, описанных в учебнике.

**П.1 Введение в ЛМН.** ЛМН – матричные неравенства, линейные или аффинные в наборе матричных переменных. Они являются, по существу, выпуклыми ограничениями, и поэтому многие проблемы оптимизации с выпуклыми целевыми функциями и ограничениями ЛМН можно легко решить эффективно, используя много существующих программ. Этот метод был очень популярен среди специалистов по системам управления в последние годы. Это связано с тем, что множество проблем управления можно сформулировать как проблемы ЛМН.

ЛМН имеет следующую форму:

$$F(x) = F_0 + x_1 F_1 + \dots + x_n F_n = F_0 + \sum_i^n x_i F_i > 0, \quad (\text{П1})$$

где  $x \in R^m$  – вектор переменных решения и  $F_0, F_1, \dots, F_n$  заданы постоянными симметричными вещественными матрицами, т. е.  $F_i = F_i^T, i = 0, \dots, n$ .

Символ неравенства в уравнении  $F(x)$  положительно определен, т. е.  $u^T F(x) u > 0$  для всех ненулевых  $u \in R^n$ . Это матричное неравенство линейно по переменным  $x_i$ .

В качестве примера рассмотрим неравенство Ляпунова

$$A^T P + P A < 0, \quad (\text{П2})$$

где  $A \in R^{n \times n}$  задано, а  $X = X^T$  – переменная решения, которая может быть выражена в виде ЛМН (П1) следующим образом: пусть  $P_1, P_2, \dots, P_m$  – базис для симметричных  $n \times n$  матриц ( $m = n(n+1)/2$ ), то возьмем  $F_0 = 0$  и  $F_i = -A^T P_i - P_i A$ .

### П.1.1 Приемы, используемые в матричных неравенствах

Хотя многие проблемы управления могут быть сформулированы как проблемы ЛМН, некоторые из этих проблем приводят к нелинейным матричным неравенствам. Есть определенные способы, которые могут быть использованы для преобразования этих нелинейных неравенств в подходящие формы ЛМН. Некоторые из способов, которые часто используются в управлении, описываются здесь подходящими примерами.

**1. Изменение переменных.** Определяя новые переменные, иногда можно линеаризовать нелинейные матричные неравенства.

*Пример А.1.* Синтез контроллера обратной связи состояния. Задача состоит в том, чтобы определить матрицу  $F \in R^{m \times n}$  такую, что все собственные значения матрицы  $A + BF \in R^{n \times n}$  лежат в открытой левой половине комплексной плоскости. С помощью теоремы Ляпунова можно показать, что это эквивалентно найти матрицу  $F$  и положительно определенную матрицу  $P \in R^{n \times n}$  такую, что имеет место неравенство:

$$A + (BF)^T P + P(A + BF) < 0 \quad (\text{П3})$$

или

$$A^T P + PA + F^T B^T P + PBF < 0. \quad (\text{П4})$$

Заметим, что члены с произведениями  $F$  и  $P$  являются нелинейными или билинейными. Умножим каждую сторону этого уравнения на  $Q = P^{-1}$ . Это дает

$$QA^T + AQ + QF^T B^T + BFQ < 0. \quad (\text{П5})$$

Это новое матричное неравенство в переменных  $Q > 0$  и  $F$ . Но оно все еще нелинейно. Определим вторую новую переменную  $L = FQ$ . Это дает

$$QA^T + QA + L^T B^T + BL < 0. \quad (\text{П6})$$

Это дает возможность ЛМН решать проблему с новыми переменными  $Q > 0$  и  $L \in R^{m \times n}$ . После решения этой ЛМН матрица обратной связи  $F$  и переменная Ляпунова  $P$  могут быть получены из  $F = LQ^{-1}$  и  $P = Q^{-1}$ . Это показывает, что, изменив переменные, мы можем получить ЛМН из нелинейного матричного неравенства.

**2. Дополнения Шура** Формула Шура используется для преобразования нелинейных неравенств выпуклого типа в ЛМН. Это говорит о том, что ЛМН

$$\begin{bmatrix} Q(x) & S(x) \\ S(x)^T & R(x) \end{bmatrix} < 0, \quad (\text{П7})$$

где  $Q(x) = Q(x)^T$ ,  $R(x) = R(x)^T$  и  $S(x)$  аффинно зависит от  $x$ , что эквивалентно

$$R(x) < 0, Q(x) - S(x)R(x)^{-1}S(x)^T < 0. \quad (\text{П8})$$

Другими словами, множество нелинейных неравенств (П8) можно преобразовать в ЛМН (П7).

*Пример 2.* Рассмотрим следующее матричное неравенство:

$$A^T P + PA + PBR^{-1}B^T P + Q < 0, \quad (\text{П9})$$

где  $P = P^T > 0$  и  $R > 0$ , что эквивалентно

$$\begin{bmatrix} A^T P + PA + Q & PB \\ B^T P & -R \end{bmatrix} < 0. \quad (\text{П10})$$

**3. S-процедура.** Эта процедура принимается, когда мы хотим объединить несколько квадратичных неравенств в одно единственное неравенство. Во многих проблемах проектирования управления мы хотели бы удостовериться, что одна квадратичная функция от  $x \in R^m$  такова, что

$$F_0(x) \leq 0, F_0(x) := x^T A_0 x + 2b_0 x + c_0 \quad (\text{П11})$$

всякий раз, когда некоторые другие квадратичные функции являются положительными полуопределенными, т.е.

$$F_i(x) \geq 0, F_i(x) := x^T A_i x + 2b_i x + c_i \quad i \in (1, 2, \dots, q). \quad (\text{П12})$$

*Пример.* Чтобы проиллюстрировать S-процедуру, рассмотрим простой случай  $i = 1$ . Нам нужно гарантировать, что  $F_0(x) \leq 0$  для всех  $x$  таких, что  $F_1(x) \geq 0$ .

Если существует положительный (или нулевой) скаляр  $\tau$  такой, что

$$F_{aug}(x) := F_0(x) + \tau F_1(x) \leq 0 \quad \forall x, \text{ s.t. } F_1(x) \geq 0, \quad (\text{П13})$$

то наша цель достигнута. Это связано с тем, что  $F_{aug}(x) \leq 0$  означает, что  $F_0(x) \leq 0$ , если  $\tau F_1(x) \geq 0$  так как  $F_0(x) \leq F_{aug}(x)$ , при  $F_1(x) \geq 0$ .

Расширяя данный результат  $q$  ограничений неравенства получим следующее:

условие  $F_0(x) \leq 0$  (при  $F_i(x) \geq 0$ ) выполняется, если

$$F_0(x) + \sum_{i=1}^q \tau_i F_i(x) \leq 0, \tau_i \geq 0. \quad (\text{П14})$$

## П.1.2 Решение ЛМН с помощью инструментальной панели MATLAB

Набор инструментов ЛМН MATLAB предоставляет набор полезных функций для решения ЛМН. Некоторые из этих функций обсуждаются здесь с примерами кодов.

*Шаг 1. Инициализация.* Вначале инициализируйте описание ЛМН с помощью команды `setlmis ([ ])`. Обратите внимание, что эта функция не принимает никаких параметров.

*Шаг 2. Определение переменных принятия решений.* Затем необходимо определить переменные решения, то есть неизвестные переменные задачи ЛМН. В качестве примера рассмотрим ЛМН  $C^T X C < 0$ , где  $C$  – постоянная матрица, а  $X$  – матрица переменных решений. Матрица переменных решений определяется с помощью функции `lmivar`, которая имеет следующий синтаксис:

$$X = \text{lmivar}(\text{type}, \text{structure}).$$

Эта команда позволяет нам определить несколько форм матриц решений, таких как симметричные матрицы, прямоугольные матрицы или матрицы другого типа. В зависимости от выбранного типа матрицы структура содержит различную информацию. Таким образом, сначала мы определяем тип, а затем определяем структуру, которая зависит от типа.

- Если `type = 1`, это означает, что матрица  $X$  является квадратной и симметричной. Элемент структуры `(i, 1)` определяет размер  $i$ -го блока, а структурный элемент `(i, 2)` задает тип  $i$ -го блока (1 для полного, 0 для скаляра и -1 для нулевого блока).

- Если `type = 2`, матрица  $X$  является прямоугольной размером  $m \times n$ , как указано в структуре `= [m, n]`.

- Если `тип = 3`, матрица  $X$  имеет другой тип.

*Шаг 3: Определите ЛМН один за другим.* Это делается с помощью команды `lmiterm`.

Синтаксис команды

$$\text{lmiterm}(\text{termID}, A, B, \text{flag}).$$

`lmiterm` принимает 3 или 4 аргумента. Первый аргумент `termID` является вектором  $1 \times 4$ .

Первый элемент этого вектора указывает, какой ЛМН определен. Вторая и третья записи в этом векторе определяют положение определяемого термина. И четвертая запись указывает, какая переменная решения ЛМН задействована. Четвёртый параметр может быть равен 0 или  $X$  в зависимости от того, является ли этот терм постоянным, типа  $AXB$  или  $AX^T B$ . Второй и третий аргументы функции `lmiterm` являются левым и правым мультипликатором матрицы решений. Если флаг установлен в 's', он

позволяет указать с помощью одной команды, что данный термин и его симметричное значение отображаются в ЛМН.

*Пример 3.* Рассмотрим следующий набор ЛМН:

$$\begin{bmatrix} CX^T C^T + B^T YA & XF \\ F^T X & Y \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$DXD^T > 0. \quad (16)$$

Здесь мы имеем две переменные решения X и Y и два ЛМН. Пусть Y – полная симметричная матрица размерности 5, X имеет 5 блоков, а размеры различных блочных матриц равны 5, 4, 3, 1 и 2.

Сначала мы определяем переменные X и Y, используя `lmivar`-функцию следующим образом:

```
structureX=[5,1;4,1;3,1;1,0;2,1];
X=lmivar(1,structureX);

structureY=[5,1];
Y=lmivar(1,structureY);
```

Затем мы определяем ЛМН с использованием функции `lmiterm` следующим образом:

```
% LMI (15)
lmiterm([1 1 1 X],C,C');
lmiterm([1 1 1 Y],B',A);
 YA
lmiterm([1 1 2 X],1,F);
lmiterm([1 2 1 X],F',1);
 X
lmiterm([1 2 2 Y],1,1);

% LMI (16)
lmiterm([-1, 1, 1, X],D,D');
```

Наконец, мы создаем объект ЛМН, используя следующую команду.  
`myLMIsystem=getlmis;`

## 2 Примеры применения ЛМН для решения различных проблем управления

*Пример 4.* Определить устойчивость линейных инвариантных по времени систем

Рассмотрим линейную инвариантную по времени систему

$$\dot{x} = Ax$$

Система стабильна при соблюдении следующих неравенств:

$$P > 0, A^T P + PA < 0$$

Эти два неравенства могут быть объединены в один ЛМН как

$$\begin{bmatrix} A^T P + PA & 0 \\ 0 & -P \end{bmatrix} < 0.$$

Код MATLAB для решения проблемы устойчивости для  $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}$

следующим образом.

### Программа

```
A=[0 1;-2 -3];
```

```
% определим неизвестную матрицу, которая должна
определяться ЛМН setlmis ([])
```

```
P=lmivar(1,[size(A,1) 1]);
```

```
% определяем ЛМН
```

```
lmiterm([1 1 1 P],1,A,'s'); % A' P+PA
```

```
lmiterm([1 1 2 0],1); % 0
```

```
lmiterm([1 2 2 P],[-1,1]); % P>0
```

```
LMISYS = getlmis;
```

```
[tmin,Psol]=feasp(LMISYS);
```

```
P=dec2mat(LMISYS,Psol,P)
```

После запуска этой программы получаем  $t_{\min} = -2.615451$  и

$$P = \begin{bmatrix} 65.9992 & 12.8946 \\ 12.8946 & 15.1836 \end{bmatrix}$$

*Пример 5.* Задача LQR: решение уравнения Риккати.

Рассмотрим систему, представленную следующими линейными уравнениями состояния непрерывного времени:

$$\dot{x} = Ax + Bu, x(0) = x_0,$$

где  $x \in R^n$  – вектор состояния,  $u \in R^m$  – входной вектор,  $A$  и  $B$  – известные матрицы соответствующих размерностей. Цель состоит в том, чтобы определить управляющий вход  $u$ , который минимизирует следующий индекс производительности:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt,$$

где  $Q \in R^{n \times n}$  – вещественная симметричная положительная полуопределенная матрица, а  $R \in R^{p \times p}$  – вещественная положительно определенная матрица.

Оптимальный управляющий вход, который минимизирует  $J$ , задается формулой

$$u(t) = R^{-1} B^T P x(t) = K x(t), K = R^{-1} B^T P, \quad (\text{П17})$$

где матрица  $P$  получается путем решения следующего уравнения Риккати:

$$A^T P + P A + P B R^{-1} B^T P + Q < 0, P > 0, R > 0.$$

Заметим, что уравнение Риккати, в отличие от уравнений Ляпунова, является нелинейным уравнением в  $P$ . Это связано с тем, что квадратичный член  $P B R^{-1} B^T P$  появляется в неравенстве. Используя дополнение Шура, мы можем представить это неравенство как ЛМН следующим образом:

$$P > 0, Q > 0, R > 0 \text{ и } \begin{bmatrix} A^T P + P A + Q & P B \\ B^T & -R \end{bmatrix} < 0. \quad (\text{П18})$$

Код MATLAB для вычисления коэффициента усиления  $K$  задается следующим образом:

### Программа

```
A=[-2 1;1 -1];
```

```
B=[1;1];
```

```
setlmis([])
```

```
% указываем структуру и размер P,Q и R
```

```
P=lmivar(1,[2,1]);
```

```
Q=lmivar(1,[2,1]);
```

```
R=lmivar(1,[1,1]);
```

```
% определяем ЛМН
```

```
lmiterm([-1 1 1 P],1,1); %P>0
```

```
lmiterm([-2 1 1 Q],1,1); %Q>0
```

```
lmiterm([-3 1 1 R],1,1); %R>0
```

```
%ЛМН (18)
```

```
lmiterm([4 1 1 P],A',1,'s');
```

```
lmiterm([4 1 1 Q],1,1);
```

```
lmiterm([4 1 2 P],1,B);
```



```
lmiterm([4 2 2 R],-1,1);
```

```
LMIs = getlmis;
```

```
[TMIN,XFEAS] = feasp(LMIs);
```

```
Q=dec2mat(LMIs,XFEAS,Q);
```

```
P=dec2mat(LMIs,XFEAS,P);
```

```
R=dec2mat(LMIs,XFEAS,R);
```

```
K=inv(R)*B'*P
```

```
% производим вычисления
```

После решения ЛМН управляющее усиление  $K = [0.2454 \quad 0.2210]$

*Пример 6.* Контроллер  $H_\infty$  с использованием полной обратной связи для системы

$$\dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u,$$

$$z = C_1 x + D_{11} w + D_{12} u.$$

Параметры контроллера можно получить, разрешив следующие ЛМН:

$$Y > 0$$

$$\begin{bmatrix} YA^T + AY + Z^T B_2^T + B_2 Z & B_1 & YC_1^T + Z^T D_{12}^T \\ B_1^T & -\gamma^I & D_{11}^T \\ C_1 Y + D_{12} Z & D_{11} & -\gamma^I \end{bmatrix} < 0. \quad (\text{П19})$$

Усиление контроллера можно вычислить из  $F = ZY^{-1}$ . Для предопределенного  $\gamma = 1$  мы имеем следующий код:

### Программа

```
% известные параметры
```

```
A=[0.8 -.25;1 0];
```

```
B1=[0 ; 0.1];
```

```
B2=[.1; 0.03];
```

```
C1=[0 .1];
```

```
D11=0.05;
```

```
D12=0.1;
```

```
gamma=1;
```

```
setlmis([])
```

```
% указываем структуру и размер Y и Z
```

```
Y=lmivar(1,[2,1]);
```

```
% симметричная матрица 2
```

```
на 2
```

```
Z=lmivar(2,[1,2]);
```

```
% вектор 1 на 2
```

```

lmiterm([-1 1 1 Y],1,1); %Y>0

% JIMH (19)
lmiterm([2 1 1 Y],A,1,'s');
lmiterm([2 1 1 Z],B2,1,'s');
lmiterm([2 1 2 0],B1);
lmiterm([2 1 3 Y],1,C1');
lmiterm([2 1 3 -Z],1,D12');
lmiterm([2 2 2 0],-gama);
lmiterm([2 2 3 0],D11');
lmiterm([2 3 3 0],-gama);

LMIs = getlmis;
options = [1e-5,0,0,0,0];
[TMIN,XFEAS]=feasp(LMIs,options,0);

Y=dec2mat(LMIs,XFEAS,Y);
Z=dec2mat(LMIs,XFEAS,Z);
F=Z*inv(Y)

```

После решения в MATLAB, мы имеем  $F = [-20.3758 \quad -6.1154]$ . Данный результат может быть проверен тем, что  $A + B_2 F \begin{bmatrix} -1.2376 & -0.86115 \\ 0.3887 & -0.1835 \end{bmatrix}$  и его собственные значения  $-0.7105 + 0.2390i$  и  $-0.7105 - 0.2390i$ , что показывает, что система устойчива.

## ЛИТЕРАТУРА

1. C. R. Cutler and B. L. Ramaker. Dynamic matrix control-a computer control algorithm. *Presented at the Meeting of the American Institute of Chemical Engineers, Houston, Texas, 1979.*
2. C. E. Garcia and A. M. Morshedi. Quadratic programming solution to Dynamic Matrix Control (QDMC). *Chemical Engineering Communication*, 46:73–87, 1986.
3. V. Peterka. Predictor-based self-tuning control. *Automatica*, 20:39–50, 1984.
4. D. W. Clarke, C. Mohtadi, and P. S. Tuffs. Generalized predictive control. part 1: The basic algorithm. part 2: Extensions and interpretations. *Automatica*, 23:137–160, 1987.
5. P. J. Gawthrop. Linear predictive pole-placement control: practical issues. *39<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control, Sydney, Australia*, 160–165, 2000.
6. P. J. Gawthrop and E. Ronco. Predictive pole-placement control with linear models. *Automatica*, 38:421–432, 2002.
7. G. C. Goodwin, S. Graebe, and M. Salgado. *Control System Design*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2000.
8. V. Gopal and L. T. Biegler. Large scale inequality constrained optimization and control. *IEEE Control System Mag.*, 18:59–68, 1998.
9. G.L. Baker, J.A. Blackburn, *The Pendulum* (Oxford University Press, Oxford, 2005).
10. H.T. Banks, H.T. Tran, *Mathematical and Experimental Modeling of Physical and Biological Processes*. Textbooks in Mathematics (CRC Press, Boca Raton, 2009).
11. Дорф Р., Бишоп Р. *Современные системы управления*. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002.
12. Самарский А.А., Гулин А.В. *Численные методы: Учеб. пособие для вузов*. – М.: Наука, 1989.
13. Yan XG, Edwards C (2008) Robust sliding mode observer-based actuator fault detection and isolation for a class of nonlinear systems. *Int J Syst Sci* 39(4):349–359.
14. Wang Z, Shen Y, Zhang X (2014) Actuator fault estimation for a class of nonlinear descriptor systems. *Int J Syst Sci* 45:487–496.
15. Zhang K, Jiang B, Shi P (2009) Fast fault estimation and accommodation for dynamical systems. *IET Control Theory Appl* 3:189–199.

16. Chen W, Chowdhury FN (2010) A synthesized design of sliding-mode and Luenberger observers for early detection of incipient faults. *Int J Adapt Control Signal Process* 24:1021–1035.
17. Alwi H, Edwards C, Tan CP (2011) Fault detection and fault-tolerant control using sliding modes. Springer, Heidelberg.
18. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. *Численные методы и программное обеспечение* / Пер. с англ. – М.: Мир, 2002.
19. Zhang J, Swain AK, Nguang SK (2011) Reconstruction of actuator fault for a class of nonlinear systems using sliding mode observer. In: *Proceedings of American control conference*, pp.1370–1375.
20. Chae S, NguangSK(2013)SOSbased robust fuzzy dynamic output feedback control of nonlinear networked control systems. *IEEE Trans Cybern* 44:1204–1213.
21. Saat S, Nguang S.K. (2015) Nonlinear  $H_\infty$  output feedback control with integrator for polynomial discrete time systems. *Int J Robust Nonlinear Control* 25:1051–1065.
22. R. Illner, C.S. Bohun, S. McCollum, T. van Roode, *Mathematical Modelling: A Case Studies Approach*, vol. 27 (American Mathematical Society, Providence, 2005).
23. Острейковский В.А. *Теория систем: Учеб. пособие.* – М.: Высш. школа, 1997.
24. Вавилов А.А., Имаев Д.Х. *Машинные методы расчёта систем управления: Учеб. пособие.* – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981.
25. Gao C, Zhao Q, Duan G (2013) Robust actuator fault diagnosis scheme for satellite attitude control systems. *J Frankl Inst* 350:2560–2580 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfranklin.2013.02.021>
26. Edwards C, Tan CP (2006) Sensor fault tolerant control using sliding-mode observers. *Control Eng Pract* 14(8):897–908
27. L.G. Leal, *Advanced Transport Phenomena* (Cambridge University Press, Cambridge, 2007).
28. M. Levi, *Classical Mechanics with Calculus of Variations and Optimal Control*. Student. Mathematical Library, vol. 69 (American Mathematical Society, Providence, 2014).
29. J.D. Logan, *Applied Mathematics*, 3rd edn. (Wiley-Interscience, Hoboken, 2006).
30. J.D. Logan, *An Introduction to Nonlinear Partial Differential Equations*, 2nd edn. (Wiley-Interscience, Hoboken, 2008).
31. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред.

- П.В. Трусова. – М.: Логос, 2010.
32. C.R. MacCluer, *Calculus of Variations* (Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2005).
  33. J.E. Marsden, A.J. Tromba, *Vector Calculus*, 5th edn. (W.H. Freeman, New York, 2003).
  34. R.M.M. Mattheij, S.W.Rienstra, J.H.M. tenThije Boonkkamp, *Partial Differential Equations: Modeling, Analysis, Computation* (SIAM, Philadelphia, 2005).
  35. Dang B., Zhilenkov A.A. Methods of Adaptive Signal Processing in the Space-Time Coding System//Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, IET – 2019, pp. 8656904
  36. J.D. Meiss, *Differential Dynamical Systems* (Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, 2007).
  37. M. Mesterton-Gibbons, *A Primer on the Calculus of Variations and Optimal Control Theory* (American Mathematical Society, Providence, 2009).
  38. Мышкис А.Д. *Элементы теории математических моделей*. – М: Физматлит, 2004.
  39. A.J. Roberts, *Model Emergent Dynamics in Complex Systems* (SIAM, Philadelphia, 2014).
  40. R.A. Serway, *Physics for Scientists and Engineers* (Brooks/Cole, Boston, 2014).
  41. Самарский А.А., Михайлов А.П. *Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры*. – М.: Физматлит, 2005.
  42. D.R. Smith, *Singular-Perturbation Theory: An Introduction with Applications* (Cambridge University Press, Cambridge, 1985).
  43. Edwards C, Spurgeon SK, Patton RJ (2000) Sliding mode observers for fault detection and isolation. *Automatica* 36:541–553.
  44. Tan CP, Edwards C (2003) Sliding mode observers for robust detection and reconstruction of actuator and sensor faults. *Int J Robust Nonlinear Control* 13:443–463.
  45. Zhilenkov A.A. High productivity numerical computations for gas dynamics modelling based on DFT and approximation//IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, IET – 2018, pp. 400 – 403.
  46. Арнольд В.И. *Обыкновенные дифференциальные уравнения*. – М.: Наука, 1984.
  47. Tan CP, Edwards C (2002) Sliding mode observers for detection and

- reconstruction of sensor faults. *Automatica* 38:1815–1821.
48. Yan XG, Edwards C (2007) Sensor fault detection and isolation for nonlinear systems based on a sliding mode observer. *Int J Adapt Control Signal Process* 21:657–673.
  49. Жиленков А.А. Разработка метода решения уравнений теплопроводности с неравномерной дискретизацией для моделирования процессов в реакторах газофазной эпитаксии // Системы управления и информационные технологии – 2017. – Т. 69. – № 3. – С. 11 – 15
  50. Alwi H, Edwards C, Tan CP (2009) Sliding mode estimation schemes for incipient sensor faults. *Automatica* 45:1679–1685.
  51. Yan XG, Edwards C (2007) Nonlinear robust fault reconstruction and estimation using a sliding mode observer. *Automatica* 43:1605–1614.
  52. Yan XG, Edwards C (2008) Robust sliding mode observer-based actuator fault detection and isolation for a class of nonlinear systems. *Int J Syst Sci* 39(4):349–359.
  53. Raoufi R, Marquez HJ, Zinober ASI (2010)  $H_\infty$  sliding mode observer for uncertain nonlinear Lipschitz systems with fault estimation synthesis. *Int J Robust Nonlinear Control* 20:1785–1801.
  54. F. Verhulst, *Methods and Applications of Singular Perturbations* (Springer, New York, 2005).
  55. R.B. White, *Asymptotic Analysis of Differential Equations*, Revised edn. Imperial College Press, London, 2010).
  56. L. Wang. Use of orthonormal basis functions in continuous-time mpc design. *UKACC*, 2000.
  57. L. Wang. Discrete model predictive control design using Laguerre functions. *Proceedings of American Control Conference*, 2001a.
  58. L.Wang. Continuous time model predictive control using orthonormal functions. *International Journal of Control*, 74:1588–1600, 2001b.
  59. L. Wang. Use of exponential data weighting in model predictive control design. *Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control*, 2001c.
  60. Liu M, Cao X, Shi P (2013) Fuzzy-model-based fault-tolerant design for nonlinear stochastic systems against simultaneous sensor and actuator faults. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 21:789–799.
  61. Bejarano FJ, Figueroa M, Pacheco J, Rubio J (2012) Robust fault diagnosis of disturbed linear systems via a sliding mode high order differentiator. *Int J Control* 85:648–659.
  62. Lee DJ, Park YJ, Park YS (2012) Robust  $H_\infty$  sliding mode descriptor observer

- for fault and output disturbance estimation of uncertain systems. *IEEE Trans Autom Control* 57:2928–2934.
63. Zhang J, Swain AK, Nguang SK (2012) Detection and isolation of incipient sensor faults for a class of uncertain nonlinear systems. *IET Control Theory Appl* 6:1870–1880.
  64. Оран Э., Борис Дж. *Численное моделирование реагирующих потоков.* – М.: Мир, 2006.
  65. Zhang J, Swain AK, Nguang SK (2013) Robust sensor fault estimation scheme for satellite attitude control systems. *J Frankl Inst* 350:2581–2604.
  66. Floquet T, Edwards C, Spurgeon SK (2007) On sliding mode observers for systems with unknown inputs. *Int J Adapt Control Signal Process* 21:638–656.
  67. Kalsi K, Lian J, Hui S, Zak SH, (2010) Sliding-mode observers for systems with unknown inputs: a high-gain approach. *Automatica* 46:347–353.
  68. Zhu F (2012) State estimation and unknown input reconstruction via both reduced-order and high-order sliding mode observers. *J Process Control* 22:296–302.
  69. Tan CP, Edwards C (2001) An LMI approach for design sliding mode observers. *Int J Control* 74:1559–1568.
  70. Chen W, Saif M (2007) Observer-based strategies for actuator fault detection, isolation and estimation for certain class of uncertain nonlinear systems. *IET Control Theory Appl* 1:1672–1680.
  71. Zhang K, Jiang B, Shi P (2009) Fast fault estimation and accommodation for dynamical systems. *IET Control Theory Appl* 3:189–199.
  72. L. Wang. Discrete model predictive control design using Laguerre functions: Numerical sensitivity analysis. *Proceedings of American Control Conference*, 2003.
  73. L. Wang. Discrete model predictive control design using Laguerre functions. *Journal of Process Control*, 14:131–142, 2004.
  74. L. Wang, C. Chessari, and E. Karpriel. Inferential control of product quality attributes: application to food cooking extrusion process. *Journal of Process Control*, 11:621–636, 2001.
  75. L. Wang and W. R. Cluett. *From Plant Data to Process Control: Ideas for Process Identification and PID Design.* Taylor and Francis, London, 2000.
  76. L. Wang, P. Gawthrop, C. Chessari, and T. Podsiadley. Continuous time system identification of food extruder: experiment design and data analysis. *Proceedings of IFAC Symposium on System Identification, Holland*, 2003.
  77. L. Wang, P. Gawthrop, C. Chessari, and T. Podsiadley. Indirect approach to continuous time system identification of food extruder. *Journal of Process*

*Control*, 14:603–615, 2004.

78. Жиленков А.А. Гибридное решение уравнений Навье-Стокса в пространствах аналитических функций с применением билинейных форм и функции Грина // Системы управления и информационные технологии – 2018. – Т. 71. – № 1. – С. 4 – 7.
79. Жиленков А.А. Численное моделирование процессов переноса в реакторах газофазной эпитаксии с аппроксимацией в пространствах аналитических функций // Двойные технологии – 2018. – № 2(83). – С. 66–68.
80. Yan XG, Edwards C (2007) Nonlinear robust fault reconstruction and estimation using a sliding mode observer. *Automatica* 43:1605–1614.
81. Gao ZW, Ding SX (2008) Fault reconstruction for Lipschitz nonlinear descriptor systems via linear matrix inequality approach. *Circuits Syst Signal Process* 27:295–308.
82. Жиленков А.А., Яковлева Д.Н. Синтез модели синхронной машины, оперирующей естественными фазными сигналами обмоток статора // Системы управления и информационные технологии – 2017. – Т. 68. – № 2. – С. 49–52.
83. Raoufi R, Marquez HJ, Zinober ASI (2010)  $H_\infty$  sliding mode observer for uncertain nonlinear Lipschitz systems with fault estimation synthesis. *Int J Robust Nonlinear Control* 20:1785–1801.
84. Jiang B, Staroswiecki M, Cocquempot V (2004) Fault estimation in nonlinear uncertain systems using robust/sliding-mode observers. *IEE Proc Control Theory Appl* 151(1):29–37.
85. Zhilenkov A.A. A Solution to the Inverse Problem of a Uniform Thermal Field on the Susceptor Surface in a Vapor-Phase Epitaxy Reactor with Induction Heating // Proceedings of the 2017 International Conference on “Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications”, IET – 2018, pp. 60.
86. Edgar Thomas F, Ivn Castillo, Fernnndez Benito R (2012) Robust model-based fault detection and isolation for nonlinear processes using sliding modes. *Int J Robust Nonlinear Control* 22:89–104.
87. L. Wang and P. C. Young. An improved structure for model predictive control using non-minimal state space realisation. *Journal of Process Control*, 16:355–371, 2006.
88. L. Wang, P. C. Young, P.J. Gawthrop, and C.J. Taylor. Non-minimal state space model-based continuous-time model predictive control with constraints. *To appear in International Journal of Control*, 2009.
89. C.C. Lee, Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller - part I and



II, IEEE Trans. SMC 20 (2) (1990) 404-435.

90. T. Yamakawa, A fuzzy inference engine in non-linear analog mode and its application to a fuzzy logic control, IEEE Trans. Neural Networks 4 (3) (1993) 496-522.
91. H. Watanabe, W.D. Detloff, K.E. Yount, A VLSI fuzzy logic controller with reconfigurable, cascaded architecture, IEEE J. Sol. State circuits. 25 (2) (1990) 376-382.
92. N.M. Botros, M. Abdul-Aziz, Hardware implementation of an artificial neural network, Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks, 1993.
93. Zhilenkov A.A., Epifantsev I.R. Problems of a trajectory planning in autonomous navigation systems based on technical vision and AI//IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, IET – 2018, pp. 1032 – 1035.
94. Dudarenko N.A., Kapitonov A.A., Shavetov S.V., Zhilenkov A.A., Pyrkin A.A., Gerasimov D.N., Vedyakov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Zimenko K.A., Kolyubin S.A., Krasnov A.Y. International summer school of Control Systems and Robotics. Learning book, IET – 2018.
95. Zhilenkov A.A., Kotlyarevskaya M.V. Synthesis of model of hardware realization of izhikevich model of biological neuron on the basis of FPGA//Proceedings of the 2018 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRus 2018, IET – 2018, pp. 1040 – 1043.
96. Zhilenkov A.A., Chernyi S.G., Nyrkov A.P., Sokolov S.S. Optimization Problem of Thermal Field on Surface of Revolving Susceptor in Vapor-Phase Epitaxy Reactor//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IET – 2017, Vol. 87, No. 8, pp. 082060.

Жиленков Антон Александрович

**Моделирование систем и комплексов:**  
**Дискретные системы прогностического управления в теории,**  
**задачах и примерах в MATLAB**

**Учебное пособие**

В авторской редакции  
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова  
**Подписано к печати**  
Заказ №  
Тираж  
Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Федеральное агентство по образованию  
ГОУ ВПО “Уральский государственный технический университет–УПИ”

**И.Н. Огородников**

# **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА**

Учебник

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Научный редактор – доц., канд.-физ.-мат. наук Г.Д. Ведьманов

Екатеринбург  
2007

УДК 004.382.7+075.8  
ББК 32.973.26-04я73  
ОЗ9

Рецензенты:

кафедра физики, прикладной математики и информатики  
Уральского технического института связи и информатики  
(зав. кафедрой – проф., д-р физ.-мат. наук В.Е. Сидоров);  
зав. лаб. Института промышленной экологии УрО РАН,  
проф., д-р физ.-мат. наук. А.Н. Вараксин

Огородников И.Н.

ОЗ9 Микропроцессорная техника: учебник /И.Н. Огородников.  
2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 380 с.

ISBN 978-5-321-00975-8

ISBN 5-321-00975-9

Учебник по курсу «Микропроцессорная техника» предназначен для студентов физико-технического факультета, обучающихся по специальностям «Электроника и автоматика физических установок», «Радиационная безопасность человека и окружающей среды», «Биомедицинская инженерия» и «Инженерное дело в медико-биологической практике».

Рассмотрены общие вопросы организации однокристалльных микропроцессоров и микроконтроллеров, проведен сравнительный анализ микроконтроллеров различных типов, детально рассмотрены организация, функционирование, система команд микроконтроллеров MCS51, а также инструментальные средства подготовки программного обеспечения.

Библиогр.: 28 назв. Табл. 44. Рис. 126. Прил. 3.

ISBN 978-5-321-00975-8  
ISBN 5-321-00975-9

УДК 004.382.7+075.8  
ББК 32.973.26-04я73

© ГОУ ВПО «Уральский государственный  
технический университет–УПИ», 2007

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В основу предлагаемого учебника положен опыт чтения автором курса лекций по основам микропроцессорной техники студентам физико-технического факультета ГОУ ВПО “Уральский государственный технический университет–УПИ”, специализирующимся в областях автоматике и электронике, инструментальных средств и приборов радиационной безопасности человека и окружающей среды, в области приборов, аппаратов, систем и комплексов для медицинских, биологических и биофизических исследований. Материал учебника предназначен как для начинающих изучать основы микропроцессорной техники, так и для более подготовленных читателей, которым была бы полезна систематизация полученных ранее знаний и практических навыков. Исходя из такой задачи, автор рассмотрел не только основные принципы организации микропроцессорной системы и устройство относительно простых микропроцессоров и микроконтроллеров, но и привел детальное описание конкретных микроконтроллеров в объеме, достаточном для проектирования и практического использования.

В первой части лекционного курса рассматриваются общие вопросы организации микропроцессорных систем.

Во второй части обсуждаются вопросы организации интерфейса и процессов ввода-вывода данных.

В третьей части рассмотрена организация 8- и 16-разрядных однокристальных микропроцессоров (i8080, i8085, i8086/88 и i80186/188).

Четвертая часть посвящена общим вопросам организации однокристальных микроконтроллеров, описанию типовых функциональных узлов, интегрируемых в микроконтроллеры. Обсуждаются критерии и алгоритмы действий при выборе типа микроконтроллера под заданные требования проекта.

В пятой части проведен сравнительный анализ микроконтроллеров различных типов, включая PIC (Microchip), SX (Scenix), AT89 и AVR AT90 (Atmel), Z86E (Zilog), An15 (Ангстрем).

В шестой части детально рассмотрена структурная организация, функционирование и система команд микроконтроллеров MCS51. Данные по MCS51 приведены в объеме, достаточном для последующего использования в лабораторной практике и проектировании.

Микроконтроллерная платформа MCS51 динамично развивается вширь и вглубь. Развитие происходит сразу по нескольким различным направлениям. Седьмая часть посвящена обсуждению наиболее важных направлений этого развития: модификации стандарт-

ного ядра i8051/i8052; микроконтроллерам семейства MCS-251/151; 16-разрядным микроконтроллерам семейства MCS-96, которые *де-факто* являются промышленным стандартом; микроконтроллерам фирм Philips и Analog Devices. Особое внимание при этом уделено микроконверторам ADuC фирмы Analog Devices, т.к. практическая часть курса (лабораторный практикум и курсовое проектирование) базируется именно на этой элементной базе.

В заключительной восьмой части рассмотрены инструментальные средства разработки программного обеспечения (внутрисхемные эмуляторы, программные симуляторы, оптимизирующий компилятор C51, макроассемблер A51, интегрированные инструментальные среды). На примере макроассемблера фирмы Keil Software дано детальное описание возможностей языка ассемблера ASM-51.

Следует отметить, что микропроцессорная техника представляет собой весьма обширную динамично развивающуюся область технических знаний, что требует постоянного обновления лекционного материала. В книгу включен лишь весьма ограниченный круг вопросов, выбор и глубина освещения которых продиктованы, в первую очередь, требованиями Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям 140300 – Ядерная физика и технологии, 200300 – Биомедицинская инженерия и 200400 – Биомедицинская техника. Учебник может быть полезен и для студентов других родственных специальностей.

Для освоения курса микропроцессорной техники необходимо знание основ теории цепей и сигналов, информатики, физики полупроводниковых приборов и цифровой электроники.

При составлении программы и подготовке лекционного курса были широко использованы материалы и данные, представленные в литературных источниках [1–28], которые автор рекомендует студентам для более углубленного изучения материала, для подготовки к зачетам и экзаменам. При работе над учебником были использованы также обширные фактические данные, представленные в Интернете на многочисленных форумах, тематических порталах и сайтах фирм-изготовителей.

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ

## 1.1. Цифровые устройства с фиксированными и программно-управляемыми функциями

Цифровые устройства как таковые являются предметом изучения отдельной дисциплины “Цифровая электроника”. С точки зрения микропроцессорной техники все схемы цифровой электроники можно разделить на два принципиально различных класса: устройства с фиксированными функциями и устройства с программно-управляемыми функциями.

### 1.1.1. Цифровые устройства с фиксированными функциями

Цифровые устройства с фиксированными функциями реализуют заданный набор функций, который не изменяется в процессе работы устройства. Все многообразие схем с фиксированными функциями можно формально свести, в свою очередь, к двум видам: *комбинационные* и *последовательностные* схемы. В дальнейшем комбинационные схемы будем обозначать КЛ (комбинационная логика), а последовательностные схемы – ПС. Различия между КЛ и ПС имеют фундаментальный характер.

***Комбинационные схемы.*** Выходные величины схем КЛ зависят только от текущего значения входных величин (аргументов). Предыстория значения не имеет.

В задачу синтеза комбинационных схем входит построение схемы устройства по заданным условиям его работы и при заданном базисе элементов. Задание комбинационного устройства сводится к заданию тех функций, которые оно должно реализовать. Число функций определяется числом выходов комбинационного устройства. Проектирование комбинационных схем состоит из этапов абстрактного и схемного синтеза.

Абстрактный синтез включает в себя: формирование задачи (словесное описание функций устройства, определение типа устройства), описание устройства на формализованных языках (таблица истинности, карта Карно, аналитическое выражение и т.п.), минимизацию булевых функций; построение логической схемы устройства.



Схемный синтез включает в себя: переход в требуемый базис, построение принципиальной схемы, разработку монтажной схемы, изготовление устройства и его испытания.

На рис. 1.1 показаны различные обозначения, применяемые для изображения КЛ на функциональных схемах. Здесь  $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$  обозначают электрические линии, по каждой из которых передается зна-

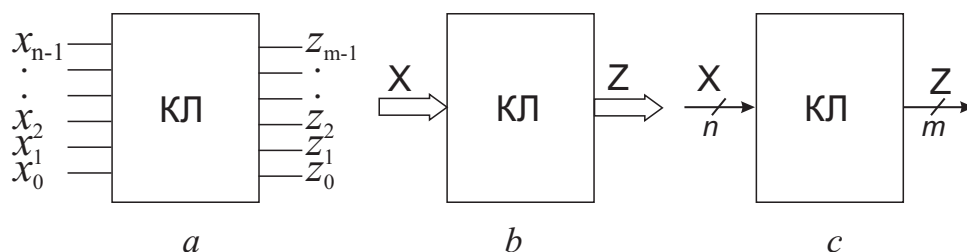


Рис. 1.1. Изображение схем КЛ: *a* – подробное; *b* – упрощенное; *c* – стилизованное

чение одного двоичного разряда (бита) входных данных. Для упрощения изображения  $n$ -разрядные входные данные обозначаются как  $X$ . Выходные  $m$ -разрядные данные  $z_0, z_1, \dots, z_{m-1}$  имеют аналогичные обозначения:  $Z = \{z_0, z_2, \dots, z_{n-1}\}$ . Между входными и выходными данными существует взаимно однозначная связь  $Z = F(X)$ . Для указания размерности двоичных данных используют общепринятые обозначения:

*бит* (bit = **b**inary **d**igit) – один разряд двоичного числа. Может принимать одно из двух возможных логических значений: 0 или 1 (“ложь” или “истина”);

*тетрада* (nibble) – 4 двоичных разряда (4 бита). Может принимать одно из 16 возможных значений;

*байт* (byte) – 8 двоичных разрядов (8 битов). Может принимать одно из 256 возможных значений;

*слово* (word) –  $n$  двоичных разрядов ( $n$  битов). Может принимать одно из  $2^n$  возможных значений.

**Последовательностные схемы.** В отличие от схем КЛ, выходные величины схем ПС зависят не только от того, какие сигналы присутствуют на его входах в данный момент времени, но и от того, какие последовательности сигналов поступали на входы устройства в предшествующие моменты времени, т.е. ПС помнит свою предысторию и хранит ее в своей памяти. Наличие памяти принципиально отличает ПС от схем КЛ. Для описания ПС, помимо состояний входов  $X$  и выходов  $Z$ , необходимо также знать состояние памяти (внутреннее состояние)  $Y$ .

В общем виде ПС может быть представлена в виде трех частей: схемы возбуждения  $\Phi$ , памяти  $Y/Y'$  и схемы выходов  $S$  (рис. 1.2). При этом схемы возбуждения и выходов являются комбинационными ло-

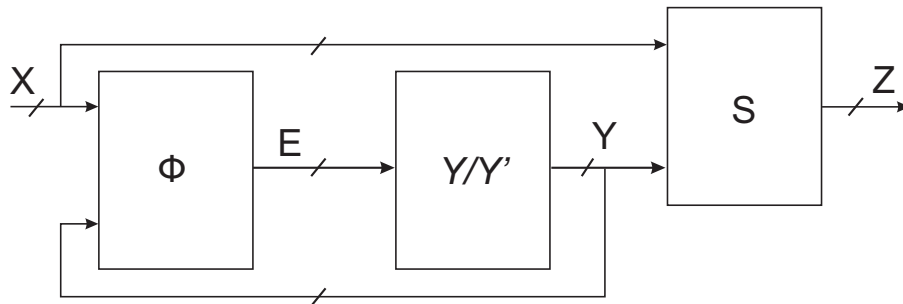


Рис. 1.2. Последовательная схема

гическими схемами с функциями  $E = \Phi(X, Y)$  и  $Z = S(X, Y)$ , которые можно задать обычным образом: таблицами истинности, картами Карно, аналитическими выражениями.

Для описания функционирования памяти необходимы правила, регламентирующие последовательность переключения внутренних состояний  $Y$  и последовательность выходных сигналов в зависимости от последовательности поступления входных сигналов, т.е. от предыдущих состояний  $Y'$ . Закон функционирования памяти может задаваться в виде графов, таблиц переключений или уравнений.

На рис. 1.3 приведен пример некоторой последовательностной схемы с четырьмя внутренними состояниями  $Y$ , обозначенными цифрами от 1 до 4. Переходы между этими состояниями происходят под действием входных сигналов  $A, B, C, D$ . Графы переходов дают полное описание закона функционирования данной последовательностной схемы.

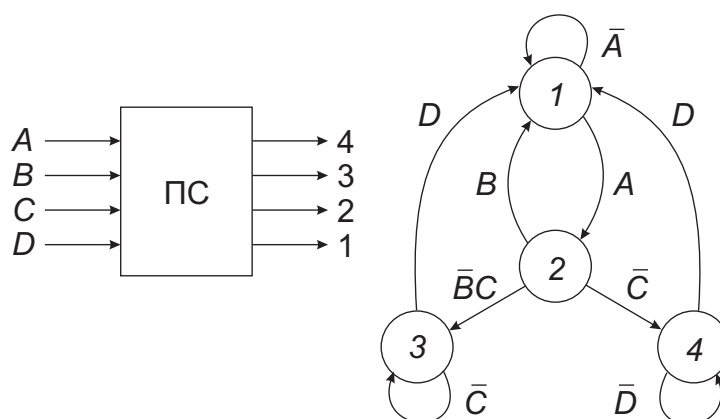


Рис. 1.3. Графы переходов последовательностной схемы

Таблица переключений (табл. 1.1) иллюстрирует альтернативный способ описания той же самой последовательностной схемы. В левой

Таблица 1.1. Таблица переключений последовательностной схемы

| Состояние | Сигналы |     |                 |                |     |
|-----------|---------|-----|-----------------|----------------|-----|
|           | $A$     | $B$ | $\overline{BC}$ | $\overline{C}$ | $D$ |
| 1         | 2       |     |                 |                |     |
| 2         |         | 1   | 3               | 4              |     |
| 3         |         |     |                 |                | 1   |
| 4         |         |     |                 |                | 1   |

колонке указаны исходные состояния до перехода, в заголовках столбцов перечислены поступившие сигналы, а в самой таблице указаны состояния системы после перехода под действием данных сигналов. Сопоставление рис. 1.3 и табл. 1.1 позволяет убедиться в идентичности двух способов описания одной и той же последовательностной схемы.

**Недостатки схем с фиксированными функциями.** Несмотря на фундаментальные различия, схемы КЛ и ПС принадлежат к одному и тому же классу устройств с фиксированными логическими функциями. При масштабировании (усложнении функций) таких устройств возникают общие проблемы обеспечения надежности устройства, снижения его габаритов, ограничения тока потребления. Наиболее кардинальное решение этих проблем – переход на интегральную технологию. При этом, однако, возникают другие проблемы, связанные со стоимостью проекта, временем разработки технологии, изготовления шаблонов и т.п., временем и полнотой тестирования интегральных схем (ИС). В итоге разработка заказных больших интегральных схем (БИС) стоит весьма дорого и окупается лишь для крупных серий.

Для малотиражных изделий в качестве частичных решений используют универсальные БИС (насколько это возможно для устройств с фиксированными функциями) либо сложные программируемые логические интегральные схемы (СПЛИС).

### 1.1.2. Цифровые устройства с программно-управляемыми функциями

Альтернативным классом цифровых устройств являются устройства с программно-управляемыми функциями. Такие устройства способны выполнять некоторое количество различных функций. В каждый момент времени устройство может быть настроено на выполне-

ние какой-то одной функции. В следующий момент устройство можно настроить на выполнение другой функции. Комбинируя по очереди соответствующие настройки, можно с помощью одного такого устройства выполнить весь заданный алгоритм обработки информации. Устройства с программно-управляемыми функциями выпускают в виде стандартных универсальных БИС. Системы, построенные на их основе, удовлетворяют двум принципам: принципу программного управления и принципу магистрально-модульной организации связей.

**Принцип программного управления** включает в себя следующие основные положения:

- любая функция, реализуемая устройством, является последовательностью элементарных действий – операций. Каждая операция задается специальной инструкцией или командой, служащей для настройки цифрового устройства на выполнение заданного элементарного действия;
- процесс реализации функции в устройстве описывается в форме алгоритма, называемого программой. Программа представляется в терминах команд и логических условий. Логические условия используются для управления порядком следования команд;
- программа используется как форма представления функции устройства, на основе которой определяются структура и порядок функционирования устройства во времени;
- программа предварительно размещается в памяти устройства, а не вводится команда за командой в процессе его работы.

Пример устройства с программно-управляемыми функциями представлен на рис. 1.4. Программа размещена в памяти команд (ПК). После размещения программы в памяти устройство управления (УУ)

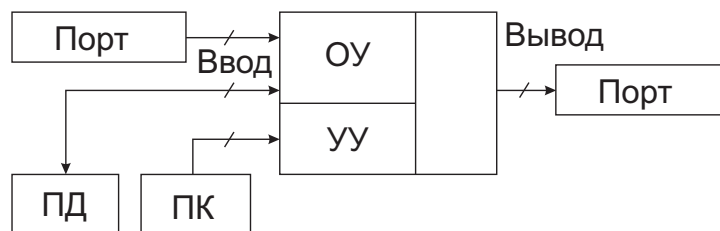


Рис. 1.4. Устройство с программно-управляемыми функциями

начинает циклически выполнять три действия: 1) выборку команды из памяти команд; 2) декодирование (интерпретацию) кода команды; 3) выполнение операции, соответствующей данной команде. Для выполнения операции УУ настраивает соответствующим образом устройство обработки (ОУ). В состав ОУ входят арифметико-логическое

устройство (АЛУ) и ряд вспомогательных функциональных узлов. Входные данные для обработки поступают от периферийного устройства через порт ввода, а результаты обработки выдаются внешнему устройству через порт вывода. Память данных (ПД) служит для временного хранения входных и промежуточных данных.

*Команда или инструкция (Command, Instruction)* – двоичный код, служащий для настройки программно-управляемого устройства на выполнение заданной операции.

*Система команд (Command set)* – совокупность всех команд, допустимых для данного программно-управляемого устройства.

*Программа (Program)* – последовательность инструкций (команд) и логических условий, реализующих заданный алгоритм.

*Арифметико-логическое устройство (ALU)* – цифровое устройство с программным управлением, выполняющее арифметические и логические операции.

*Порт (Port)* – средство для подключения периферийных устройств.

*Магистраль или шина (Bus)* – группа линий передачи информации, объединенных общей функцией.

Команды из памяти выбираются одна за другой по порядку. Наличие логических условий может изменять порядок выборки команд. Цикл “выборка–декодирование–выполнение” повторяется все время, пока устройство функционирует.

### 1.1.3. Магистрально-модульная организация связей

Магистрально-модульный принцип организации связей обеспечивает обмен информацией между функциональными и конструктивными модулями различного уровня с помощью магистралей, объединяющих входные и выходные шины.

Необходимость магистрально-модульной организации связей обусловлена требованиями их оптимизации, повышения компактности, формализации топологии для автоматизированного проектирования и тестирования. Немаловажным фактором является возможность расширения системы (модификации) за счет подключения новых дополнительных модулей.

**Принцип магистрально-модульной организации связей** состоит в регуляризации и упорядочении связей между функциональными узлами - модулями посредством перехода от межмодульных связей к обмену данными через общую шину - магистраль. Регуляризация предполагает закономерную повторяемость элементов структуры и связей между ними.

Процедура подключения модулей к магистрали является типовой для всех модулей и поддается формальному описанию и стандартизации. Это открывает совершенно новые возможности для разработчиков: любая новая аппаратура, разработанная с соблюдением соответствующего стандарта, может быть легко подключена к системе.

Усложнение организационной структуры связей неизбежно ведет к некоторому замедлению процессов обмена данными. Однако в большинстве случаев выигрыш от регуляризации связей существенно превышает проигрыш от потери быстродействия. В особых случаях, когда решающим фактором является именно скорость обмена данными, руководствуются другими принципами.

На рис. 1.5 приведен пример системы с магистрально-модульной организацией связей. Общая шина (ОШ), или магистраль, группирует линии связей по функциональному признаку. В системе может быть несколько общих шин, различающихся по функциональному назначе-

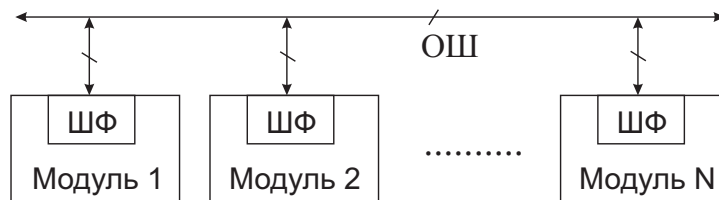


Рис. 1.5. Магистрально-модульная организация связей

нию. Шинные формирователи (ШФ) входят в состав каждого модуля и служат для управления обменом данными по магистрали. Функции шинного формирователя: 1) передача данных (от модуля к магистрали); 2) прием данных (от магистрали к модулю); 3) отключение модуля от магистрали при отсутствии обмена данными.

**Схемотехника шинных формирователей.** Схемотехника шинных формирователей может базироваться на различных принципах. Рассмотрим построение трех типов шинных формирователей.

1. Шинный формирователь на основе схем мультиплексор-демультиплексор (рис. 1.6). В этом примере любой из пяти модулей, подключенных к мультиплексору (MUX), может быть выбран по адресу и подключен к общей линии связи. Демультиплексор (DEMUX) выполняет обратную функцию – позволяет подключить общую шину к

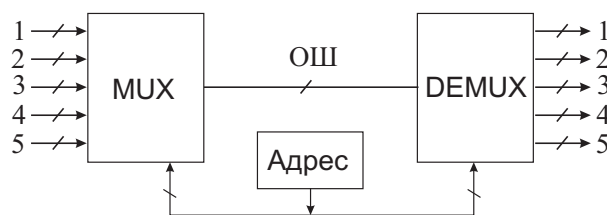


Рис. 1.6. ШФ на основе схем мультиплексор-демультиплексор

любому модулю, выбранному по адресу. Основные недостатки этой схемы: число выводов электронных переключателей конструктивно ограничено, поэтому а) подключение новых модулей может быть сопряжено с большими техническими трудностями; б) не удастся реализовать отключение от общей шины при отсутствии обмена данными. На практике такая схема коммутации каналов применяется лишь для уменьшения количества контактов в разъемах.

2. Шинный формирователь на основе схем с открытым коллектором (рис. 1.7). Такие схемы допускают объединение на общей нагрузке (“монтажное ИЛИ”). В исходном состоянии все транзисторные ключи

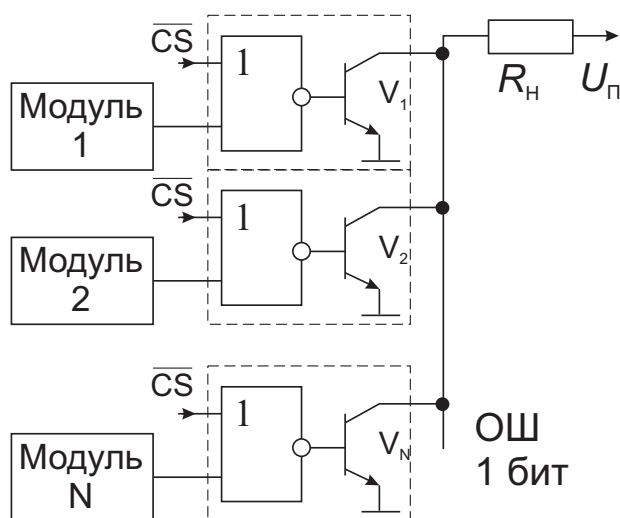


Рис. 1.7. ШФ на основе схем с открытым коллектором

$V_i$  закрыты, линия ОШ нагружена лишь их внутренними сопротивлениями  $r_i$ . Это соответствует единичному логическому уровню. Любой открытый ключ устанавливает на линии ОШ состояние логического нуля. Таким образом, все модули могут по очереди выдавать данные на линию. Разрешение выхода на линию осуществляется сигналом  $\overline{CS}=0$  ( $CS = \text{Chip Select}$ ). Основной недостаток данной схемы в том, что число подключаемых устройств сильно ограничено. Действительно, суммарное сопротивление всех ключей, соединенных по параллельной схеме, будет  $r$ , а емкость –  $C$  (1.1). Легко видеть, что при возрастании числа модулей  $N$  соотношение  $r/R_H$  будет быстро

падать до неприемлемо малого уровня, а емкость  $C$  будет быстро возрастать. Предельно-допустимые значения этих параметров обуславливают ограничение по количеству устройств ( $N$ ), подключаемых к общей шине.

$$r = \left( \sum_{i=1}^N r_i^{-1} \right)^{-1}; \quad C = \sum_{i=1}^N C_i. \quad (1.1)$$

На практике данное схемотехническое решение применяется, главным образом, для организации шинных формирователей внутри кристалла микросхемы.

3. Шинный формирователь на основе логических элементов с тремя состояниями. Элемент с тремя состояниями (рис. 1.8) может

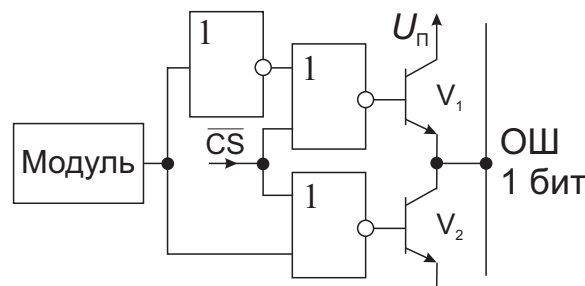


Рис. 1.8. Элемент с тремя состояниями на биполярных транзисторах

находиться в одном из трех состояний. При  $\overline{CS}=0$  логические уровни нуля или единицы с выхода модуля передаются на линию ОШ. При  $\overline{CS}=1$  оба ключа закрыты и линия ОШ отключена от модуля. Это третье состояние элемента, в котором он имеет высокое внутреннее сопротивление. В этом состоянии элемента потенциал на линии ОШ становится плавающим, т.е. он определяется не данным элементом, а какими-то другими устройствами, подключенными к линии.

Замена биполярных транзисторов на комплементарные МОП-транзисторы (КМОП-структуры) позволяет избавиться от дополнительных логических вентилях и оптимизировать схемотехнику элемента с тремя состояниями. Логический элемент с тремя состояниями на КМОП-структурах (рис. 1.9) применяется в серийных шинных формирователях для межкристальных и межблочных соединений. Его конструкция отличается высокой нагрузочной способностью. Высокое входное сопротивление изолированных затворов входных ключей позволяет произвольно комбинировать такие элементы, подключая, например, вход одного к выходу другого для обеспечения двунаправленного обмена. На рис. 1.10 приведен фрагмент функциональной схемы серийного неинвертирующего шинного формирователя. Линии общей шины обозначены DB (**D**ata **B**inary, **DBIN**), линии, по которым информация вводится на шину, - DI (**D**ata **I**nterface), линии вывода с общей шины



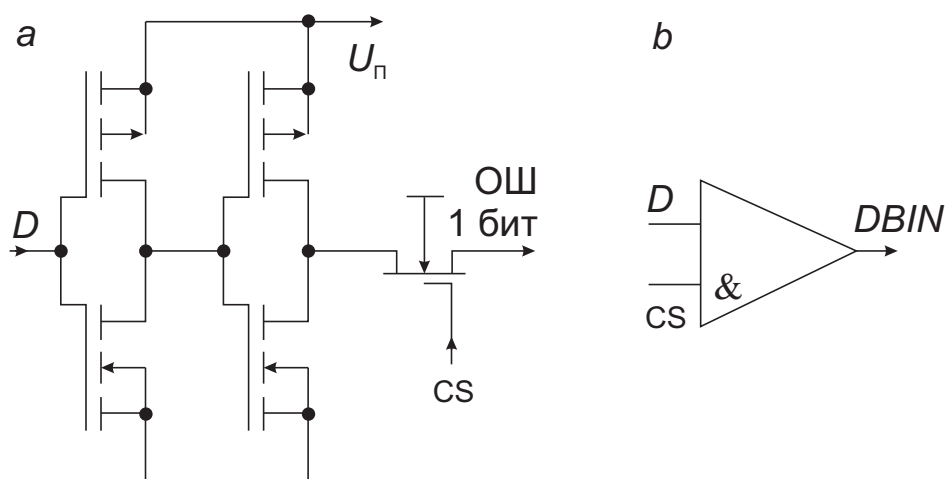


Рис. 1.9. Неинвертирующий элемент с тремя состояниями на КМОП-структурах (a) и его условное обозначение (b)

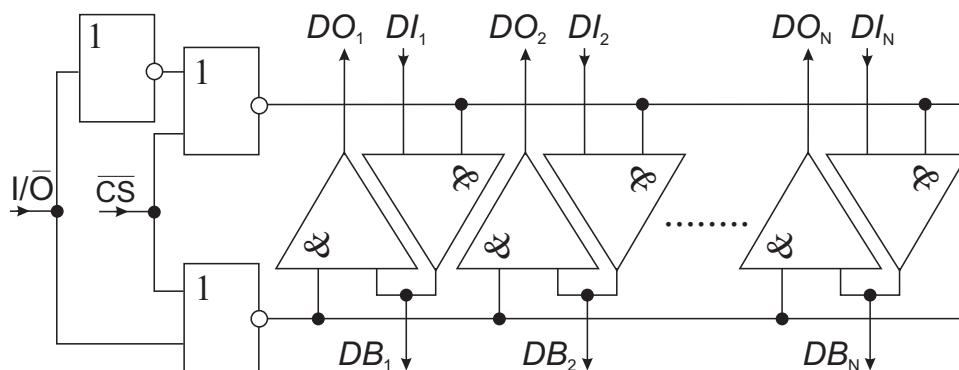


Рис. 1.10. Структура серийного шинного формирователя

в модуль - DO (**D**ata **O**utput). Направления потоков данных в системе отсчитывают от центрального модуля, обычно это модуль микропроцессора. Сигнал  $\overline{I/O}$  служит для переключения направления потока данных: ввод или вывод.

**Функциональная схема микропроцессорной системы.** На рис. 1.11 показана функциональная схема микропроцессорной системы, удовлетворяющая сразу обоим принципам: программного управления и магистрально-модульной организации. Именно эта базовая система будет являться предметом нашего дальнейшего анализа. Система состоит из тех же самых функциональных узлов, что и ее прототип, приведенный на рис. 1.4. В отличие от прототипа (рис. 1.4), все потоки данных здесь сгруппированы в три общие шины (магистралы), различающиеся по функциональному назначению. Шина управления (ШУ) служит для передачи всех управляющих сигналов, таких как  $\overline{CS}$ ,  $\overline{I/O}$  и т.п. Шина адреса (ША) предназначена для передачи адресов каких-либо элементов системы (например, адресов ячеек памяти и т.п.) при

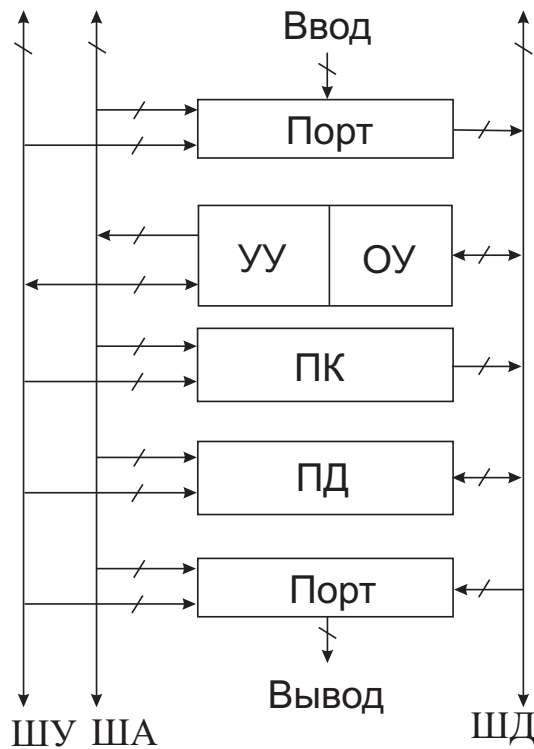


Рис. 1.11. Функциональная схема микропроцессорной системы

обращении к ним. Шина данных (ШД) служит для пересылки данных между устройствами системы. Шинные формователи входят в состав каждого функционального узла, но на рис. 1.11 они не показаны.

Система также циклически выполняет три типовых действия: выборку команды из памяти команд, декодирование кода операции (КОП) и выполнение операции. Однако детали этих действий несколько отличаются от прототипа, поскольку потоки данных распределены по разным шинам.

Описание работы системы выглядит следующим образом:

1) устройство управления выставляет на ША адрес ячейки ПК, где содержится команда для выборки;

2) устройство управления выставляет на ШУ сигналы для доступа к памяти команд ( $\overline{CS}$ ,  $\overline{I/O}$  и т.п.);

3) память команд выдает на ШД код операции, содержащийся в адресуемой ячейке;

4) устройство управления принимает КОП с ШД и размещает его в своем внутреннем регистре команд;

5) устройство управления декодирует КОП, размещенный в регистре команд, и настраивает обрабатывающее устройство на выполнение заданной операции;

6) обрабатывающее устройство выполняет заданную операцию;

7) все действия, начиная с п.1, циклически повторяются.

Данные операции циклически повторяются, пока не будет выпол-

нена вся программа, хранящаяся в памяти программ. Приведенный на рис. 1.11 вариант организации микропроцессорной системы не является единственным. Существует множество разновидностей или способов построения системы. Для обозначения различных видов системы используют термин “архитектура” системы.

### 1.2. Архитектура системы

*Архитектура* – логическая организация микропроцессора или микроконтроллера, рассматриваемая с точки зрения пользователя; она определяет возможности микропроцессора по аппаратной и программной реализации функций, необходимых для построения микропроцессорной системы.

Понятие архитектуры отражает:

1) концептуальную структуру, т.е. совокупность компонентов, составляющих микропроцессор или микроконтроллер, и связей между ними; для пользователя достаточно ограничиться регистровой моделью микропроцессора;

2) способы представления и форматы данных;

3) способы обращения ко всем программно-доступным для пользователя элементам структуры (адресация к регистрам, ячейкам постоянной и оперативной памяти, внешним устройствам);

4) набор операций, выполняемых микропроцессором;

5) характеристики управляющих слов и сигналов, вырабатываемых микропроцессором и поступающих в него извне;

6) реакцию на внешние сигналы (система обработки прерываний и т.п.).

Понятие архитектуры не включает в себя такие проблемы, как передача потоков данных внутри процессора, конструктивные особенности логических схем и специфику технологии производства.

Архитектуру можно, в известном смысле, понимать как некоторую модель системы, которая на заданном уровне детализации описывает актуальные характеристики системы. В рамках архитектурной модели становится возможным сравнивать и оценивать требуемые характеристики систем, отбрасывая все остальные несущественные для данного сравнения особенности организации системы.

#### 1.2.1. Некоторые типы архитектуры

Число различных типов архитектуры исчисляется сотнями. Мы рассмотрим лишь некоторые из них, имеющие отношение к обсуждаемым далее типам микропроцессоров и микроконтроллеров.

По способу организации пространства памяти микропроцессорной системы различают два основных типа архитектур: архитектуру фон Неймана и гарвардскую архитектуру (рис. 1.12).

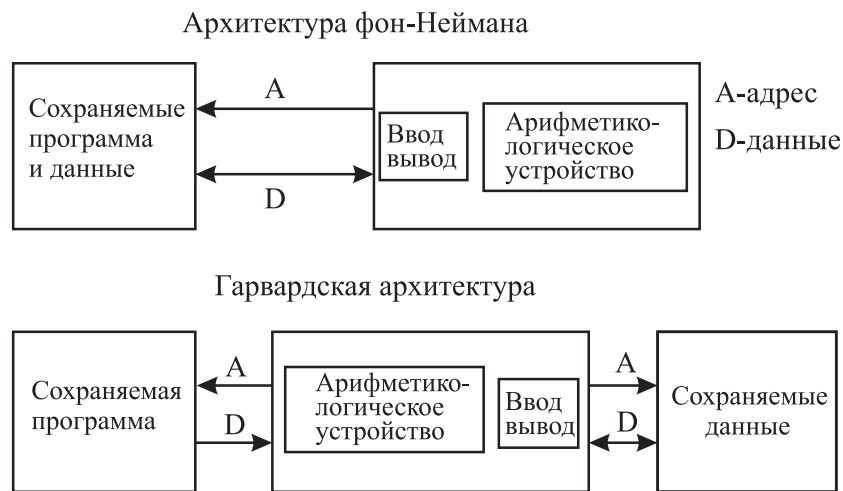


Рис. 1.12. Архитектура фон Неймана и гарвардская архитектура

*Архитектура фон Неймана* (принстонская архитектура) – организация пространства памяти, при которой для хранения программ и данных используется одно пространство памяти.

Название архитектуры дано по имени математика Джона фон Неймана (John von Neumann), предложившего в 40-е годы XX века кодировать программы в формате, соответствующем формату данных. В основу архитектуры положены принципы фон Неймана:

- принцип программного управления, согласно которому программа состоит из набора команд, выполняемых процессором друг за другом в определенной последовательности;
- принцип однородности памяти, согласно которому программы и данные хранятся в одной и той же памяти;
- принцип адресности, согласно которому основная память состоит из нумерованных ячеек и процессору в любой момент времени доступна любая ячейка.

Отличительные черты архитектуры фон Неймана: единственная последовательно адресуемая память; программа и данные хранятся в одной памяти, адреса областей которой составляют последовательность; память является линейной и одномерной; отсутствует явное различие между командами и данными. Их идентифицируют неявным способом при выполнении операций; назначение данных не является их неотъемлемой составной частью. Оно определяется логикой программы.



Говард Айхен (1900-1973)



Джон фон Нейман (1903-1957)

Преимуществами архитектуры фон Неймана являются более простая внутренняя структура микропроцессора и меньшее количество управляющих сигналов: одно арифметико-логическое устройство, через которое проходит поток данных, и одно устройство управления, через которое проходит поток команд.

*Гарвардская архитектура* – организация пространства памяти, при которой память программ и память данных физически и логически разделены и имеют свои собственные адресные пространства и способы доступа к ним.

Гарвардская архитектура была разработана Говардом Айхеном (Howard Aiken) в конце 1930-х годов в Гарвардском университете (отсюда название).

Основное отличие гарвардской архитектуры состоит в том, что память программ и память данных разделены, они используют физически разделенные линии передачи и требуют дополнительных управляющих сигналов. Это позволяет микропроцессору или микроконтроллеру пересылать команды и данные одновременно.

Гарвардская архитектура является более сложной, однако она позволяет более гибко манипулировать информацией, реализовывать компактно кодируемый набор машинных команд и, в ряде случаев, ускорять работу микропроцессора. Представителями такой архитектуры являются микроконтроллеры семейства MCS51 фирмы Intel.

В настоящее время выпускаются микропроцессоры со смешанной архитектурой, в которых память программ и память данных имеют единое адресное пространство, однако различные механизмы доступа.

На рис. 1.13 приведена схема классификации типов архитектуры по системе команд и особенностям выполнения операций. Поскольку англоязычные аббревиатуры (и некоторые названия) очень широко

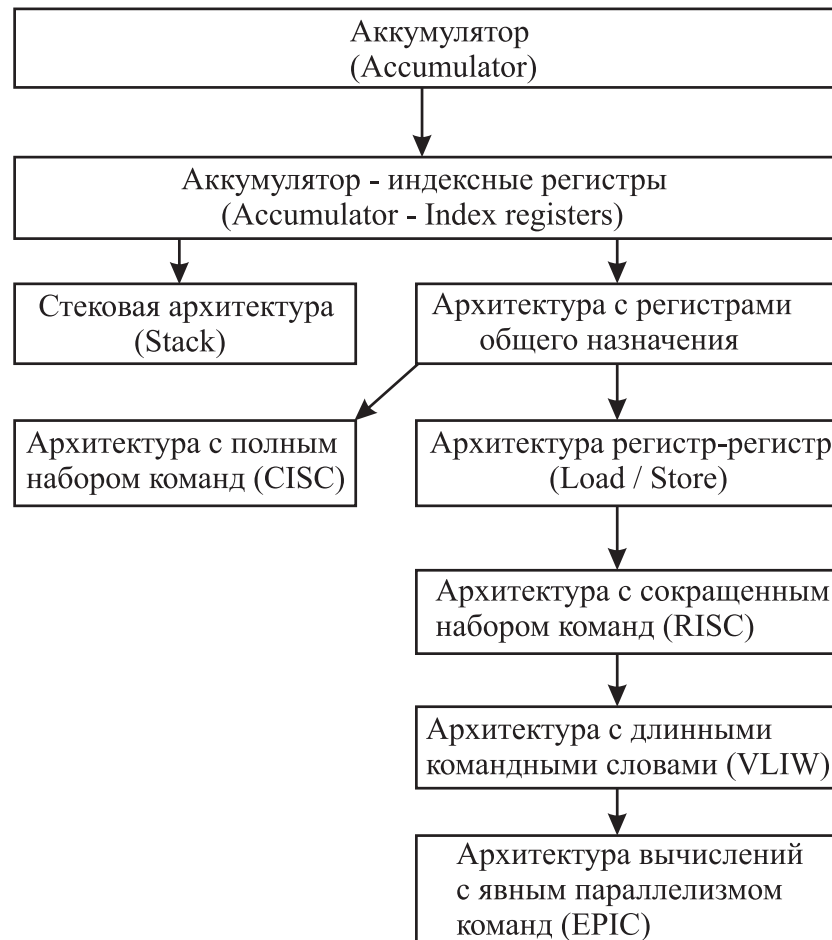


Рис. 1.13. Классификация типов архитектуры по системе команд

распространены в литературе, мы специально приведем их рядом с русскоязычными названиями. Архитектуры набора команд на этой схеме обозначают некоторые идеализированные концепции. Реальные микропроцессоры и микроконтроллеры иногда бывает достаточно сложно отнести к одной из них.

**Архитектура аккумулятора** (рис. 1.14) очень проста и наиболее близка к архитектуре простейшего калькулятора. Процессор имеет единственный регистр – аккумулятор, давший название архитектуре. Его содержимое комбинируется в арифметико-логическом устройстве процессора с единственным операндом. Напомним, что операндом называются данные для обработки - то, над чем выполняется операция. Результат операции также помещается в аккумулятор. Существует две команды для загрузки значения из памяти в аккумулятор и выгрузки его из аккумулятора в память. Данная архитектура использует адрес основной памяти в качестве единственного операнда команды. Ссылка на аккумулятор производится неявно с помощью кода операции. При этом нет необходимости в коде команды выделять специальную область для адресов операнда и результата.

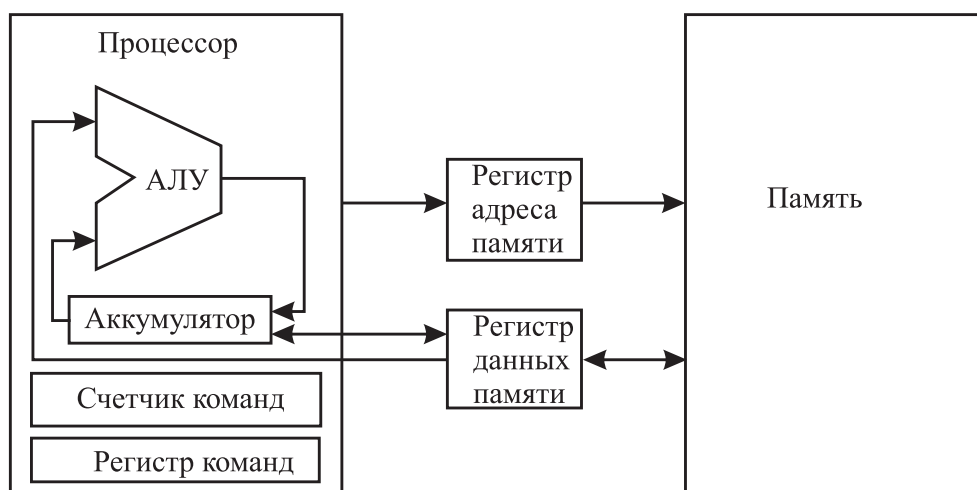


Рис. 1.14. Архитектура аккумулятора

К недостаткам архитектуры *аккумулятор* можно отнести относительно низкое быстродействие, объясняемое тем, что аккумулятор является *узким местом*, в которое каждый раз необходимо сначала занести операнд перед выполнением операции.

**Стековая архитектура.** Арифметические команды стековой архитектуры не имеют операндов (рис. 1.15). Стековая организация дает возможность использовать безадресные команды, код которых имеет наименьшую длину. Безадресные команды оперируют данными, находящимися на вершине стека и непосредственно под ней. При выполнении операции исходные операнды извлекаются из стека, а результат передается на вершину стека. Существует две команды для загрузки значения из памяти на вершину стека и выгрузки значения на вершине стека в память. Эти команды используют адрес основной памяти в качестве единственного операнда команды.

Стековая архитектура обладает высокой вычислительной эффективностью. Существует специальный язык высокого уровня FORTH, построенный на основе безадресных команд. Такая архитектура используется в специализированных процессорах высокой производительности и, в частности, в RISC-процессорах.

**Архитектура регистр-регистр.** Архитектура регистр-регистр характеризуется наличием высокоскоростной регистровой памяти, расположенной на одном кристалле с процессором (рис. 1.16). Эта архитектура близка к стековой, но операнды могут быть взяты из любого регистра высокоскоростной памяти. В отличие от аккумулятора рабочие регистры адресуются явно в коде команды. С помощью специальных команд можно производить обмен данными между регистровым

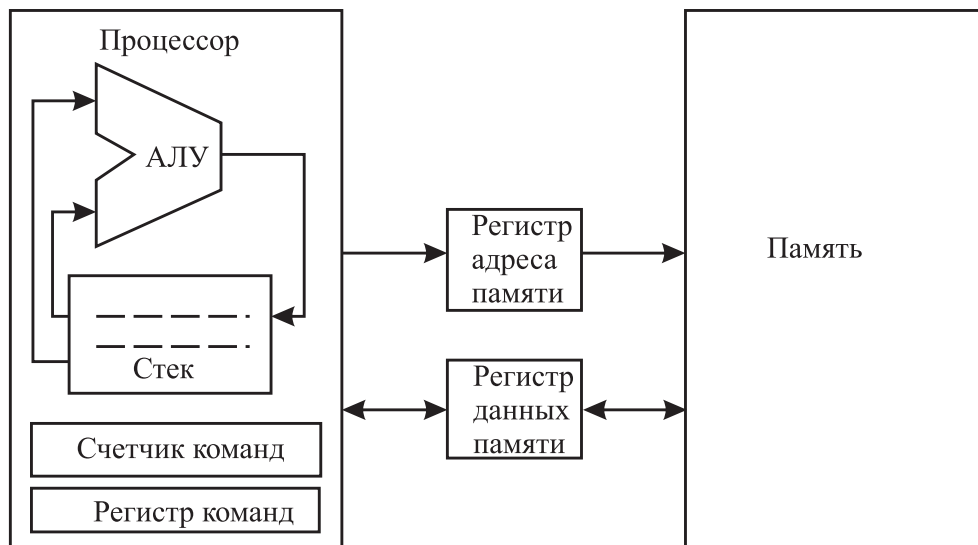


Рис. 1.15. Стековая архитектура

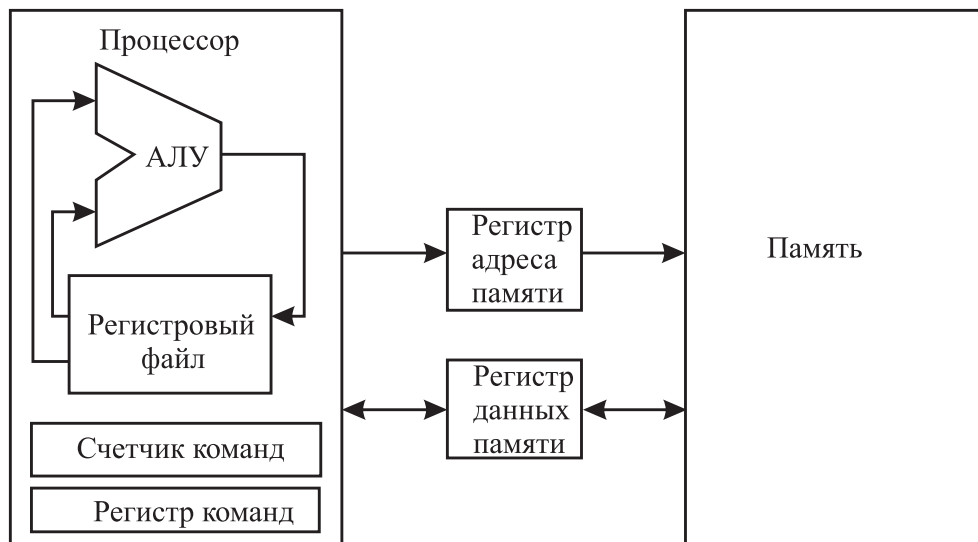


Рис. 1.16. Архитектура регистр-регистр

файлом (регистровой памятью) и основной памятью. Арифметические и логические команды в качестве операндов используют три регистра: два из них являются источниками, а в третий помещается результат.

Архитектуры типа CISC, RISC и VLIW обозначают некоторые идеализированные концепции. Большинство широко известных реальных процессоров занимают промежуточное положение на шкале, левый край которой может быть помечен концепцией CISC, а правый край шкалы – RISC.

**Полный набор команд.** Complete Instruction Set Computer (CISC). Для CISC-процессоров характерно сравнительно небольшое число регистров общего назначения, большое количество машинных команд,



некоторые из них нагружены семантически аналогично операторам высокоуровневых языков программирования и выполняются за много тактов, большое количество методов адресации и форматов команд различной разрядности, преобладание двухадресного формата команд, наличие команд обработки типа регистр-память.

**Сокращенный набор команд.** Reduced Instruction Set Computer (RISC). Данная архитектура основана на результатах статистического анализа частоты востребованности различных команд микропроцессора. Оказалось, что даже у процессоров со сложной организацией большая часть времени уходит на выполнение простых команд. Имеет место так называемая теорема 20/80, а именно: 20 % команд используется в 80 % случаев, а оставшиеся 80 % команд используются в 20 % случаев. Это наблюдение легло в основу работ по созданию IBM801 – первой RISC-машины, разработка которой была завершена к 1979 году.

Само понятие RISC было введено Дэвидом Паттерсоном (David Patterson), преподавателем университета Беркли, в 1980 году.

Основными чертами концепции RISC-архитектуры являются:

- одинаковая длина команд;
- единый формат команд или, по крайней мере, использование не более двух-трех форматов;
- регистры, являющиеся операндами всех арифметических и логических команд;
- команды, выполняющие только простые действия;
- выполнение любой команды не дольше чем за один такт;
- большой регистровый файл;
- только простая адресация.

В системах программирования для RISC-архитектуры практически всегда присутствуют компиляторы, имеющие большие возможности по оптимизации кода.

**Архитектура с длинным командным словом.** Архитектура с длинным командным словом – это статическая суперскалярная архитектура. Несколько простых команд упаковывается компилятором в длинное слово. Слово соответствует набору функциональных устройств. Распараллеливание кода производится на этапе компиляции, и в машинном коде уже присутствует явный параллелизм.

**Архитектура вычислений с явным параллелизмом команд.** Explicitly Parallel Instruction Computing (EPIC) является развитием архитектуры с длинным командным словом. Концепция EPIC разработана совместно компаниями Intel и Hewlett-Packard. Она обладает достоинствами

VLIW, но лишена ее недостатков (например, использует специальные механизмы для исключения неэффективности кодов традиционных VLIW-архитектур, требовавших применения пустых команд для заполнения пустых машинных тактов).

### 1.3. Полупроводниковые запоминающие устройства

Запоминающие устройства (ЗУ) служат для хранения информации и обмена ею с другими цифровыми устройствами. Микросхемы памяти в общем объеме выпуска интегральных схем занимают до 40% и играют важнейшую роль во многих системах различного назначения. Микросхемы и системы памяти постоянно совершенствуются как в области схемотехники, так и в области развития новых архитектур. В настоящее время созданы и используются десятки различных типов ЗУ.

#### 1.3.1. Система параметров

Важнейшие параметры ЗУ находятся в противоречии. Так, например, большая информационная емкость не сочетается с высоким быстродействием, а быстродействие в свою очередь не сочетается с низкой стоимостью. Поэтому системам памяти свойственна многоступенчатая иерархическая структура, и в зависимости от роли того или иного ЗУ его реализация может быть существенно различной. В наиболее развитой иерархии памяти можно выделить следующие уровни:

- *регистровые ЗУ*, находящиеся в составе процессора или других устройств (т.е. внутренние для этих блоков), благодаря которым уменьшается число обращений к другим уровням памяти, реализованным вне процессора и требующим большего времени для операций обмена информацией;
- *кэш-память*, служащая для хранения копий информации, используемой в текущих операциях обмена. Высокое быстродействие кэш-памяти повышает производительность микропроцессоров;
- *основная память* (оперативная, постоянная, полупостоянная), работающая в режиме непосредственного обмена с процессором и по возможности согласованная с ним по быстродействию. Исполняемый в текущий момент фрагмент программы обязательно находится в основной памяти;
- *специализированные* виды памяти, характерные для некоторых специфических архитектур (многопортовые, ассоциативные, видео-память и др.);
- *внешняя память*, хранящая большие объемы информации. Эта память обычно реализуется на основе устройств с подвижным но-

сителем информации (магнитные и оптические диски, магнитные ленты и др.). В настоящем пособии устройства внешней памяти не рассматриваются.

### Основные параметры ЗУ

**Информационная емкость** – максимально возможный объем хранимой информации. Выражается в битах или словах (в частности, в байтах). Бит хранится запоминаящим элементом (ЗЭ), а слово – ячейкой памяти (ЯП), т.е. группой ЗЭ, к которым возможно лишь одно-временное обращение. Добавление к единице измерения множителя “К” (кило) означает умножение на  $2^{10} = 1024$ , множителя “М” (мега) – умножение на  $2^{20} = 1048576$ , множителя “Г” (гига) – умножение на  $2^{30} = 1073741824$ , а множителя “Т” (тера) – умножение на  $2^{40}$ .

**Организация ЗУ** – произведение числа хранимых слов на их разрядность. Это дает информационную емкость ЗУ, однако при одной и той же информационной емкости организация ЗУ может быть различной, так что организация является самостоятельным важным параметром. Пример организации:  $1\text{К} \times 12$  – это соответствует 1024 ячейкам памяти по 12 битов каждая, т.е. 1К 12-разрядных слов.

**Быстродействие (производительность) ЗУ** оценивают временами считывания, записи и длительностями циклов чтения/записи. *Время считывания* – интервал между моментами появления сигнала чтения и слова на выходе ЗУ. *Время записи* – интервал после появления сигнала записи, достаточный для установления ЯП в состояние, задаваемое входным словом. Минимально допустимый интервал между последовательными чтениями или записями образует соответствующий цикл. Длительности циклов могут превышать время чтения или записи, т.к. после этих операций может потребоваться время для восстановления необходимого начального состояния ЗУ.

Время чтения, записи и длительности циклов – традиционные параметры. Для некоторых современных ЗУ они должны быть дополнены новыми. Причиной является более сложный характер доступа к хранимым данным, когда обращение к первому слову некоторой группы слов (пакета) требует большего времени, чем обращение к последующим. Для таких режимов вводят параметр *времени доступа при первом обращении* (Latency) и *темпа передач* для последующих слов пакета (Bandwidth). Темп передач в свою очередь оценивается двумя значениями – *предельным* (внутри пакета) и *усредненным* (с учетом Latency). С уменьшением пакета усредненный темп снижается, все более отличаясь от предельного.

Помимо рассмотренных основных параметров для ЗУ указывают еще целый набор временных интервалов. Перечисленные выше динамические параметры являются *эксплуатационными* (измеряемыми).

Кроме них, существует ряд *режимных параметров*, обеспечение которых необходимо для нормального функционирования ЗУ, поскольку оно имеет несколько сигналов управления, для которых должно быть обеспечено определенное взаимное расположение во времени. Для этих сигналов задаются длительности и ограничения по взаимному положению во времени.

Один из возможных наборов сигналов ЗУ (рис. 1.17) включает в себя следующие сигналы:

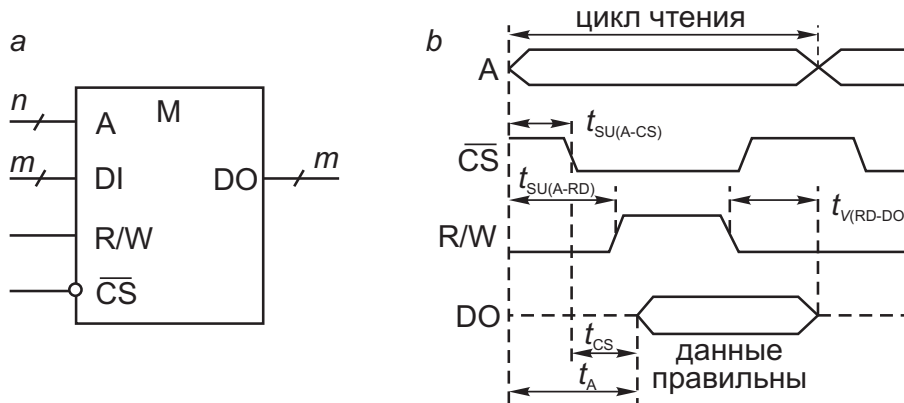


Рис. 1.17. Типичные сигналы ЗУ (а) и их временные диаграммы (б)

- А – адрес, разрядность которого  $n$  определяется числом ячеек ЗУ, т.е. максимально возможным числом хранимых в ЗУ слов. Для ЗУ типично число ячеек, выражаемое целой степенью двойки. Адрес является номером ячейки, к которой идет обращение. Очевидно, что разрядность адреса связана с числом хранимых слов  $N$  соотношением  $n = \log_2 N$  (имеется в виду максимально возможное число хранимых слов). Например, ЗУ с информационной емкостью 64К слов имеет 16-разрядные адреса;
- CS – (Chip Select) или CE (Chip Enable), который разрешает или запрещает работу данной микросхемы;
- R/W – (Read/Write) задает выполняемую операцию (при единичном значении – чтение, при нулевом – запись);
- DI и DO (Data Input) и (Data Output) – шины входных и выходных данных, разрядность которых  $m$  определяется организацией ЗУ (разрядностью его ячеек). В некоторых ЗУ эти линии объединены.

Требования к взаимному временному положению двух сигналов (А и В) задаются временами предустановки, удержания и сохранения.

**Время предустановки** сигнала А относительно сигнала В  $t_{SU(A-B)}$  есть интервал между началами обоих сигналов.

**Время удержания**  $t_{H(A-B)}$  – это интервал между началом сигнала А и окончанием сигнала В.

**Время сохранения**  $t_{V(A-B)}$  – интервал между окончанием сигнала А и окончанием сигнала В.

Длительности сигналов обозначаются как  $t_W$  (индекс от слова Width – ширина).

Для ЗУ характерна следующая последовательность сигналов. Прежде всего подается адрес, чтобы последующие операции не коснулись какой-либо другой ячейки, кроме выбранной. Затем разрешается работа микросхемы сигналом CS (CE) и подается строб чтения/записи R/W (взаимное положение сигналов CS и R/W для разных ЗУ может быть различным). Если задана, например, операция чтения, то после подачи перечисленных сигналов ЗУ готовит данные для чтения, что требует определенного времени. Задний фронт сигнала R/W, положение которого во времени должно обеспечивать установление правильных данных на выходе ЗУ, считывает данные.

Пример временной диаграммы для рассмотренного набора сигналов ЗУ и операции чтения приведен на рис. 1.17.

Индексом А (от слова Access) обозначаются согласно стандарту времена доступа – интервалы времени от появления того или иного управляющего сигнала до появления информационного сигнала на выходе. Время доступа относительно сигнала адреса обозначается, если следовать правилу, как  $t_{A(A)}$ , но часто просто как  $t_A$ . Аналогично этому время доступа относительно сигнала CS, т. е.  $t_{A(CS)}$ , часто обозначается просто как  $t_{CS}$ . Время  $t_A$  называют также временем выборки, а время  $t_{CS}$  – временем выбора.

Кроме отмеченных параметров для ЗУ используется и ряд других (уровни напряжений, токи, емкости выводов, температурный диапазон и т.д.), которые не требуют специального рассмотрения, т.к. они традиционны для цифровой схмотехники. Исключение составляет свойство энергонезависимости, т.е. способность ЗУ сохранять данные при отключении напряжения питания. Энергонезависимость может быть естественной, т.е. присущей самим ЗЭ, или искусственной, достигаемой введением резервных источников питания, автоматически подключаемых к накопителю ЗУ при снятии основного питания.

### 1.3.2. Классификация ЗУ

Для классификации ЗУ (рис. 1.18) важнейшим признаком является способ доступа к данным.

#### Память с произвольным доступом

При адресном доступе код на адресном входе указывает ячейку, с которой ведется обмен. Все ячейки адресной памяти в момент обра-

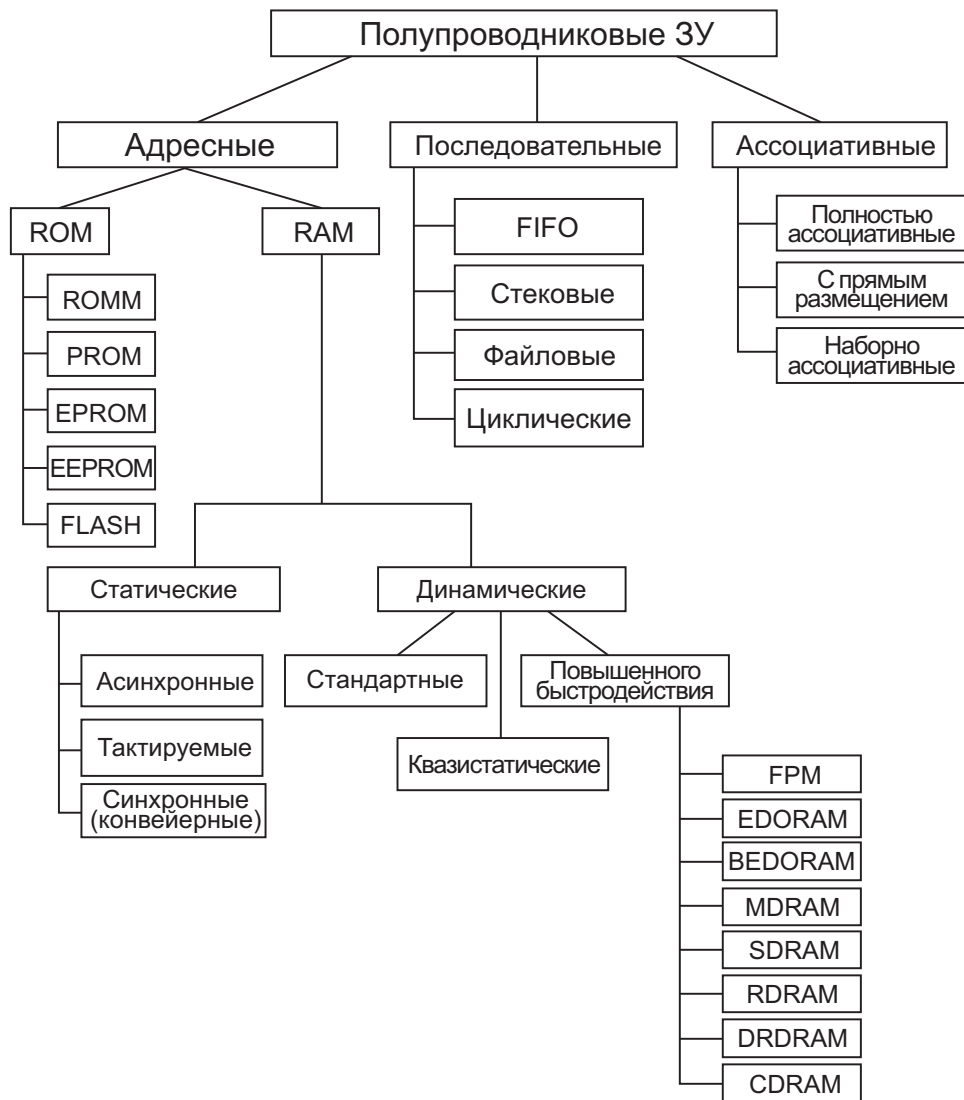


Рис. 1.18. Классификация полупроводниковых ЗУ

щения равнодоступны. Эти ЗУ наиболее разработаны, и другие виды памяти часто строят на основе адресной с соответствующими модификациями.

*Адресные ЗУ* делятся на RAM (Random Access Memory) и ROM (Read-Only Memory). Русские синонимы термина RAM: ОЗУ (оперативные ЗУ или ЗУ с произвольной выборкой). Оперативные ЗУ хранят данные, участвующие в обмене при исполнении текущей программы, которые могут быть изменены в произвольный момент времени. Запоминающие элементы ОЗУ, как правило, не обладают энергонезависимостью.

В ROM (русский эквивалент – ПЗУ, постоянные ЗУ) содержимое либо вообще не изменяется, либо изменяется, но редко и в специальном режиме. Для рабочего режима – это “память только для чтения”. RAM делятся на статические и динамические.

**В статических ОЗУ** – SRAM (Static RAM) запоминающими элементами являются триггеры, сохраняющие свое состояние, пока схема находится под питанием и нет новой записи данных. Статические ЗУ можно разделить на асинхронные, тактируемые и синхронные (конвейерные). В *асинхронных* сигналы управления могут задаваться как импульсами, так и уровнями. Например, сигнал разрешения работы CS может оставаться неизменным и разрешающим на протяжении многих циклов обращения к памяти. В *тактируемых ЗУ* некоторые сигналы обязательно должны быть импульсными; например сигнал разрешения работы  $\overline{CS}$  в каждом цикле обращения к памяти должен переходить из пассивного состояния в активное (должен формироваться фронт этого сигнала в каждом цикле). Этот тип ЗУ часто называют синхронным. Здесь использован термин “тактируемые”, чтобы “освободить” термин “синхронные” для новых типов ЗУ, в которых организован *конвейерный* тракт передачи данных, синхронизируемый от тактовой системы процессора, что дает повышение темпа передач данных в несколько раз. Статические ЗУ в 4...5 раз дороже динамических и приблизительно во столько же раз меньше по информационной емкости. Их достоинством является высокое быстродействие, а типичной областью использования – схемы кэш-памяти.

**Динамические ЗУ** – DRAM (Dynamic RAM) характеризуются наибольшей информационной емкостью и невысокой стоимостью, поэтому именно они используются как основная память микропроцессорных систем. Данные в динамических ЗУ хранятся в виде зарядов конденсаторов, образуемых элементами МОП-структур. Саморазряд конденсаторов ведет к разрушению данных, поэтому они должны периодически (каждые несколько миллисекунд) регенерироваться. В то же время плотность упаковки динамических элементов памяти в несколько раз превышает плотность упаковки, достижимую в статических RAM.

Регенерация данных в динамических ЗУ осуществляется с помощью специальных контроллеров. Разработаны также ЗУ с динамическими запоминающими элементами, имеющие внутреннюю встроенную систему регенерации, у которых внешнее поведение относительно управляющих сигналов становится аналогичным поведению статических ЗУ. Такие ЗУ называют *квазистатическими*.

Поскольку от этой памяти требуется высокое быстродействие, разработаны многочисленные архитектуры повышенного быстродействия, перечисленные в классификации (см. рис. 1.18). В частности, конвейерная организация ЗУ играет важную роль в повышении быстродействия динамических ЗУ (вариант SDRAM).

**Постоянные ЗУ.** Постоянная память типа ROM(М) программируется при изготовлении методами интегральной технологии с помощью одной из используемых при этом масок. В русском языке ее можно назвать “масочные ПЗУ”. Для потребителя – это в полном смысле слова постоянная память, т.к. изменить ее содержимое он не может.

**Программируемые ЗУ.** В следующих трех разновидностях ROM в обозначениях присутствует буква P (от Programmable). Это программируемая пользователем память (в русской терминологии ППЗУ – программируемые ПЗУ). Ее содержимое записывается либо однократно (в PROM), либо может быть заменено путем стирания старой информации и записи новой (в EPROM и EEPROM). В EPROM стирание выполняется с помощью облучения кристалла ультрафиолетовыми лучами, ее русское название “репрограммируемое ПЗУ с УФ-стиранием”. В EEPROM стирание производится электрическими сигналами, ее русское название “репрограммируемое ПЗУ с электрическим стиранием”. Английские названия расшифровываются как Electrically Programmable ROM и Electrically Erasable Programmable ROM. Программирование PROM и репрограммирование EPROM и EEPROM производятся в обычных лабораторных условиях с помощью либо специальных программаторов, либо специальных режимов без специальных приборов (для EEPROM). Запись данных и для EPROM и для EEPROM производится электрическими сигналами.

**Память tina Flash** по запоминающему элементу подобна памяти типа EEPROM (или иначе E<sup>2</sup>PROM), но имеет структурные и технологические особенности, позволяющие выделить ее в отдельный вид. В схемах Flash-памяти не предусмотрено стирание отдельных слов, стирание информации осуществляется либо для всей памяти одновременно, либо для достаточно больших блоков. Это позволяет упростить схемы ЗУ, т.е. получить высокую степень интеграции и быстродействия при снижении стоимости. Наряду с одновременным стиранием всего содержимого ЗУ имеются схемы с блочной структурой, в которых весь массив разбит на блоки, стираемые независимо друг от друга. Объем таких блоков сильно разнится: от 256 байт до 128 Кбайт.

Число циклов репрограммирования Flash-памяти хотя и велико, но ограничено, т.е. ячейки при перезаписи “изнашиваются”. Для увеличения срока службы ЗУ используют специальные алгоритмы для “разравнивания” числа перезаписей по всем блокам микросхемы.

Flash-память имеет архитектурные и схемотехнические разновидности, обуславливающие два основных направления ее эффективного использования: хранение не очень часто изменяемых данных (обновляемых программ в частности) и замена памяти на магнитных дисках (файловая Flash-память).



## Память с последовательным доступом

В ЗУ с последовательным доступом записываемые данные образуют некоторую очередь. Считывание происходит из очереди слово за словом, либо в порядке записи, либо в обратном порядке. Моделью такого ЗУ является последовательная цепочка ЗЭ, в которой данные передаются между элементами. Память с последовательным доступом строится либо с использованием продвижения данных в цепочке элементов (по подобию с регистрами сдвига), либо с хранением данных в адресном ЗУ с необходимым управлением адресом доступа.

Основными представителями этого вида памяти являются видеопамять, буфер FIFO и стек (LIFO).

**Прямой порядок считывания** имеет место в буферах FIFO с дисциплиной “первый пришел – первый вышел” (First In – First Out), а также в файловых и циклических ЗУ. Интервалы между словами могут быть совершенно различными, т.к. моменты записи слова в буфер и считывания из него задаются внешними сигналами управления независимо друг от друга. Возможность иметь разный темп приема и выдачи слов необходима, например, если приемник способен принимать данные, поступающие регулярно с некоторой частотой, а источник информации выдает слова в более быстром темпе и, может быть, к тому же нерегулярно.

Разница между памятью FIFO и файловым ЗУ состоит в том, что в FIFO запись в пустой буфер сразу же становится доступной для чтения, т. е. поступает в конец цепочки (модели ЗУ). В файловых ЗУ данные поступают в начало цепочки и появляются на выходе после некоторого числа обращений, равного числу элементов в цепочке. При независимости операций считывания и записи фактическое расположение данных в ЗУ на момент считывания не связано с каким-либо внешним признаком. Поэтому записываемые данные объединяют в блоки, обрамляемые специальными символами конца и начала (файлы). Прием данных из файлового ЗУ начинается после обнаружения приемником символа начала блока.

В циклических ЗУ слова доступны одно за другим с постоянным периодом, определяемым емкостью памяти. К такому типу среди полупроводниковых ЗУ относится видеопамять (VRAM).

Видеопамять работает циклично, на ее выходе последовательно в порядке сканирования экрана монитора лучом появляются коды, задающие параметры светосистемы (яркость, цвет) элементарных точек экрана – пикселей. Текущее изображение на мониторе – кадр – представлено последовательностью слов, длина которой равна числу пикселей на экране. Слово, соответствующее одному пикселу, может

иметь разрядность от 8 (для черно-белых мониторов) до 24 (для полноцветного режима).

При реализации на основе адресной памяти циклический доступ к данным обеспечивается счетчиком адреса с модулем, равным числу запоминаемых слов. При считывании после каждого обращения адрес увеличивается на единицу, обеспечивая последовательное обращение ко всем ячейкам ЗУ. При переполнении счетчика формируется сигнал начала кадра для управления монитором (для запуска кадровой синхронизации). В первом случае сигнал переполнения счетчика и его переход на начальный адрес являются сигналом начала передачи блока данных из основной памяти или видеобуфера.

Во втором случае адрес изменяемой ячейки (номер пиксела) и данные сохраняются в буфере, а в момент совпадения этого адреса и содержимого счетчика выполняется один цикл записи нового слова. Все остальное время ЗУ работает обычным образом.

**Считывание в обратном порядке** свойственно стековым ЗУ, для которых реализуется дисциплина “последний пришел – первый вышел”. Такие ЗУ называют *буферами LIFO* (Last In – First Out). Время доступа к конкретной единице хранимой информации в последовательных ЗУ представляет собою случайную величину. В наихудшем случае для такого доступа может потребоваться просмотр всего объема хранимых данных.

**Ассоциативный доступ** реализует поиск информации по некоторому признаку, а не по ее расположению в памяти (адресу или месту в очереди). В наиболее полной версии все хранимые в памяти слова одновременно проверяются на соответствие признаку, например на совпадение определенных полей слов (тегов – от английского слова tag) с признаком, задаваемым входным словом (теговым адресом). На выход выдаются слова, удовлетворяющие признаку. Дисциплина выдачи слов, если тегу удовлетворяют несколько слов, а также дисциплина записи новых данных могут быть разными. Основная область применения ассоциативной памяти в микропроцессорных системах — кэширование данных.

Кэш-память (Cache) запоминает копии информации, передаваемые между устройствами (прежде всего между процессором и основной памятью). Она имеет небольшую емкость в сравнении с основной памятью и более высокое быстродействие (реализуется на триггерных элементах памяти). При чтении данных сначала выполняется обращение к кэш-памяти. Если в кэше имеется копия данных адресованной ячейки основной памяти, то кэш выдает данные на общую шину данных. Эффективность кэширования обусловлена тем, что большинство

прикладных программ имеют циклический характер и многократно используют одни и те же данные. Поэтому после первого использования данных из относительно медленной основной памяти повторные обращения требуют меньше времени.

*В полностью ассоциативной* кэш-памяти (Fully Associated Cache Memory, FАСМ) каждая ячейка хранит данные, а поле “тег” – полный физический адрес информации, копия которой записана. При любых обменах физический адрес запрашиваемой информации сравнивается с полями “тег” всех ячеек. При совпадении адреса с тегом: в режиме чтения данные из кэша выдаются на ШД; в режиме записи данные с ШД записываются в найденную ячейку кэш-памяти. При отсутствии совпадения адреса с тегом сначала ищется свободная или наиболее давно не используемая ячейка кэш-памяти, затем: в режиме чтения данные из основной памяти помещаются (вместе с адресом) в эту ячейку и выдаются на ШД; в режиме записи данные размещаются в этой ячейке кэш-памяти. Копирование данных в основную память выполняется аппаратно под управлением специального контроллера, когда нет обращений к памяти. Кэш-память типа FАСМ – наиболее совершенная, но и наиболее сложная и дорогая память. Существует несколько разновидностей FАСМ, отличающихся по экономичности затрат аппаратных средств на их реализацию.

*В кэш-памяти с прямым размещением* (с прямым отображением) несколько страниц основной памяти строго соответствуют одной строке кэша. Тег для кэш-памяти с прямым размещением сильно сокращается по разрядности. Достоинство кэш-памяти с прямым размещением – экономичность по аппаратным затратам. Недостаток – ограничения на расположение страниц в кэше, что может не позволить сформировать в нем оптимальный набор страниц.

*Наборно-ассоциативная кэш-память* (с ассоциацией по нескольким направлениям) – это промежуточный по сложности и эффективности вариант между двумя предыдущими типами кэш-памяти. Возможность свободного размещения страниц в наборе позволяет сформировать в кэше лучший состав страниц, т.к. имеется возможность выбрать ту или иную заменяемую страницу.

В современных микропроцессорных системах кэш первого уровня, обозначаемый L1 (Level) и расположенный внутри процессора, обычно имеет наборно-ассоциативную структуру, а кэш второго уровня L2, расположенный вне процессора, – структуру с прямым размещением.

Технико-экономические параметры ЗУ существенно зависят от их схемотехнической реализации. По этому признаку также возможна классификация ЗУ, однако удобнее рассматривать этот вопрос применительно к отдельным типам памяти.

## 1.3.3. Основные структуры запоминающих устройств

Адресные ЗУ представлены в классификации статическими и динамическими оперативными устройствами и памятью типа ROM. Многочисленные варианты этих ЗУ имеют много общего с точки зрения структурных схем, что делает более рациональным не конкретное рассмотрение каждого ЗУ в полном объеме, а изучение некоторых обобщенных структур с последующим описанием запоминающих элементов для различных ЗУ. Общность структур особенно проявляется для статических ОЗУ и памяти типа ROM. Структуры динамических ОЗУ имеют свою специфику. Для статических ОЗУ и памяти типа ROM наиболее характерны структуры 2D, 3D и 2DM.

## Структура 2D

В структуре 2D (рис. 1.19) запоминающие элементы ЗЭ организованы в прямоугольную матрицу размерностью  $M = k \times m$ , где  $M$  – информационная емкость памяти в битах;  $k$  – число хранимых слов;  $m$  – их разрядность. Разрядность адреса  $A$ :  $n = \log_2 k$ . Дешифра-

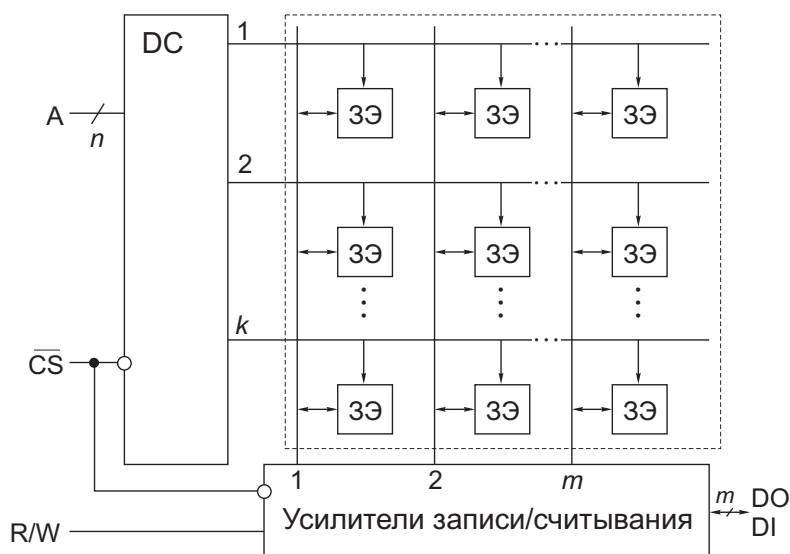


Рис. 1.19. Структура ЗУ типа 2D

тор адреса DC при наличии разрешающего сигнала  $\overline{CS}$  активизирует одну из выходных линий, разрешая одновременный доступ ко всем элементам выбранной строки, хранящей слово, адрес которого соответствует номеру строки. Элементы одного столбца соединены вертикальной линией – внутренней линией данных (разрядной линией, линией записи/считывания). Элементы столбца хранят одноименные биты всех слов. Направление обмена устанавливается усилителями записи/считывания под воздействием сигнала R/W.

Структура 2D применяется лишь в ЗУ малой информационной емкости, т.к. при возрастании емкости происходит неоправданное усложнение электронных схем. В частности, дешифратор адреса должен иметь число выходов, совпадающее с числом хранимых слов.

### Структура 3D

Структур 3D позволяет существенно упростить дешифраторы адреса с помощью двухкоординатной выборки ЗЭ. Принцип двухкоординатной выборки поясняется (рис. 1.20) на примере ПЗУ, реализующей только операцию чтения. Адрес разрядности  $n$  делится на две поло-

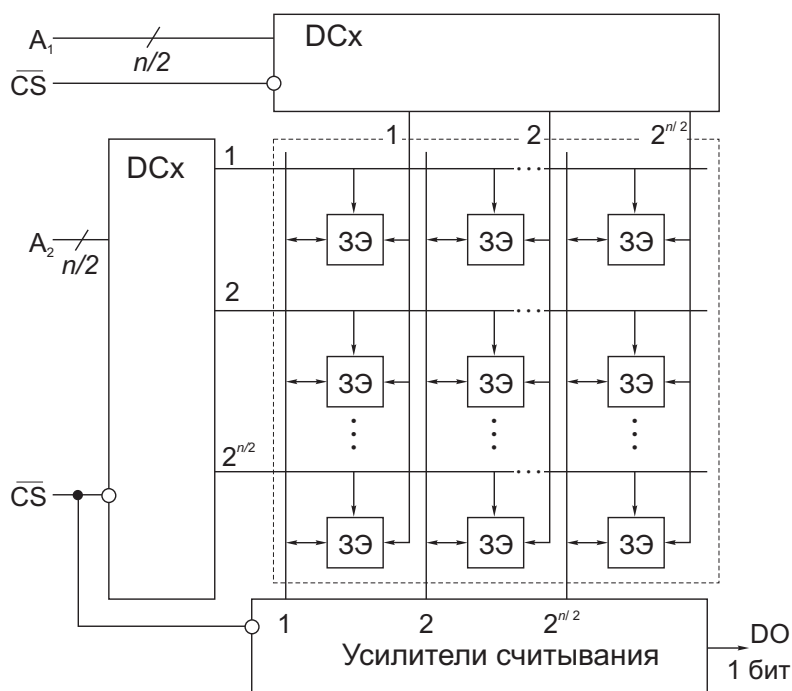


Рис. 1.20. Структура ЗУ типа 3D с однобитовой организацией

винки, каждая из которых декодируется отдельно. Выбирается ЗЭ, находящийся на пересечении активных линий выходов обоих дешифраторов. Таких пересечений будет как раз  $2^{n/2} \times 2^{n/2} = 2^n$ . Эта цифра гораздо меньше, чем  $2^n$  при реальных значениях  $n$ . Уже для ЗУ с небольшой информационной емкостью видна существенная разница: для структуры 2D при хранении 1К слов требуется дешифратор с 1024 выходами, а для структуры 3D нужны два дешифратора по 32 выхода каждый. Недостатком структуры 3D является в первую очередь усложнение элементов памяти, имеющих двухкоординатную выборку.

Структура 3D (см. рис. 1.20) применяется и в ЗУ с многоразрядной организацией. В этом случае несколько матриц управляются двумя дешифраторами, относительно которых эти матрицы включены параллельно. Каждая матрица выдает один бит адресованного слова, а число матриц равно разрядности хранимых слов.

Структуры типа 3D имеют также довольно ограниченное применение, поскольку в структурах типа 2DM (2D модифицированная) сочетаются достоинства обеих рассмотренных структур – упрощается дешифрация адреса и не требуется запоминающих элементов с двухкоординатной выборкой.

### Структура 2DM

Структура 2DM (рис. 1.21) для матрицы запоминающих элементов с адресацией от дешифратора DCx имеет до некоторой степени характер структуры 2D: возбужденный выход дешифратора выбирает

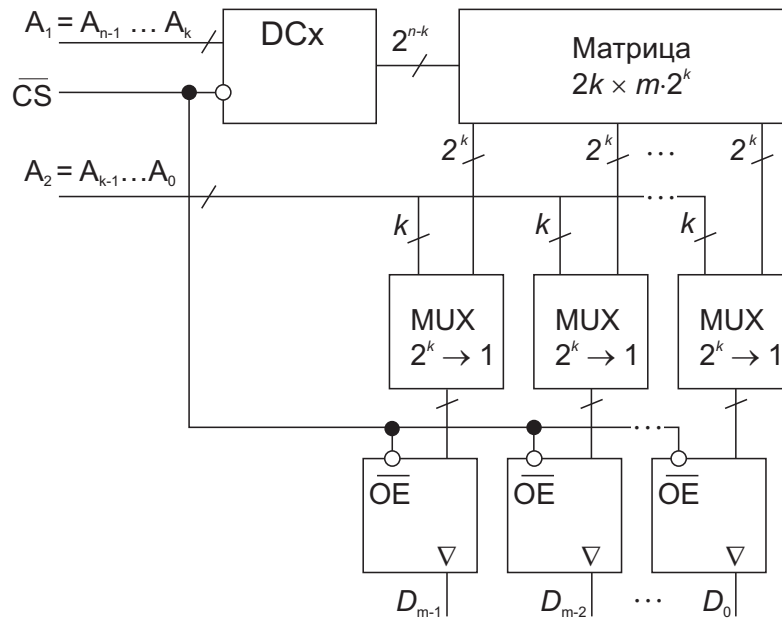


Рис. 1.21. Структура ЗУ типа 2DM для ПЗУ

целую строку. Однако в отличие от структуры 2D длина строки не равняется разрядности хранимых слов, а многократно ее превышает. При этом число строк матрицы уменьшается и соответственно уменьшается число выходов дешифратора. Для выбора одной из строк служат не все разряды адреса, а лишь их старшая часть  $A_{n-1} \dots A_k$ . Оставшаяся младшая часть адреса  $A_{k-1} \dots A_0$  используется, чтобы выбрать необходимое слово из того множества слов, которое содержится в строке. Это выполняется с помощью мультиплексоров, на адресные входы которых подаются коды  $A_{k-1} \dots A_0$ . Длина строки равна  $m \cdot 2^k$ , где  $m$  – разрядность хранимых слов. Из каждого “отрезка” строки длиной  $2^k$  мультиплексор выбирает один бит. На выходах мультиплексоров формируется выходное слово. По разрешающему сигналу  $\overline{CS}$ , поступающему на входы OE управляемых буферов с тремя состояниями, выходное слово выдается на внешнюю шину. Структура типа 2DM с успехом применяется и для построения ОЗУ.

### 1.3.4. Постоянные запоминающие устройства

Запоминающие устройства типа ROM имеют многоразрядную организацию и обычно выполняются по структуре 2DM. Простейшие ЗУ могут иметь структуру 2D. Технологии изготовления постоянных ЗУ разнообразны: ТТЛ(Ш), КМОП, *n*-МОП и др.

#### Масочные ЗУ

Элементом связи в масочных ЗУ могут быть диоды, биполярные транзисторы, МОП-транзисторы и т.д. В матрице ЗУ (рис. 1.22, *a*) горизонтальные линии являются линиями выборки слов, а вертикальные – линиями считывания. Считываемое слово определяется расположе-

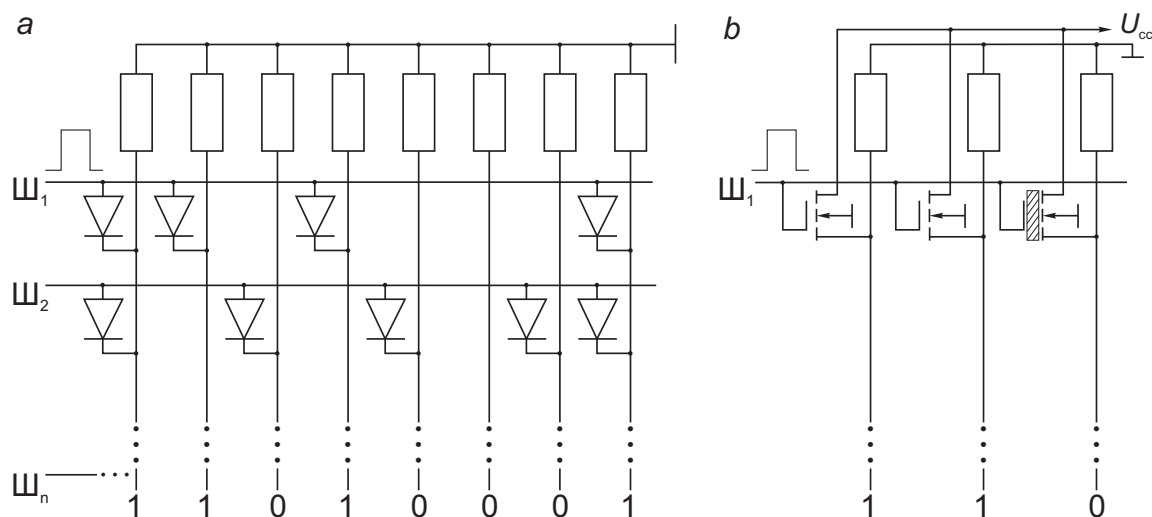


Рис. 1.22. Матрица масочного ЗУ на диодных (*a*) и МОП-транзисторных (*b*) запоминающих элементах

нием диодов в узлах координатной сетки. При наличии диода высокий потенциал выбранной горизонтальной линии передается на соответствующую вертикальную линию, и в данном разряде слова появляется сигнал логической единицы. При отсутствии диода потенциал близок к нулевому, т.к. вертикальная линия через резистор связана с землей. На рис. 1.22, *a* при возбужденной линии выборки Ш<sub>1</sub> считывается слово 11010001 (это слово хранится в ячейке номер 1). При возбуждении Ш<sub>2</sub> считывается слово 10101011 (оно хранится в ячейке номер 2). Линии выборки являются выходами дешифратора адреса, каждая адресная комбинация возбуждает свой выход дешифратора, что приводит к считыванию слова из адресуемой ячейки.

В матрице с диодными элементами в одних узлах матрицы диоды изготавливаются, а в других – нет. Для удешевления производства при изготовлении ЗУ стремятся варьировать только один шаблон так, чтобы одни элементы связи были законченными и работоспособными, а

другие – незавершенными и как бы отсутствующими. Для матриц с МОП-транзисторами, часто в МОП-транзисторах, соответствующих хранению нуля, просто увеличивают толщину подзатворного окисла, что ведет к увеличению порогового напряжения транзистора. В этом случае рабочие напряжения ЗУ не в состоянии открыть транзистор. Постоянное закрытое состояние транзистора аналогично его отсутствию. Матрица с МОП-транзисторами показана на рис. 1.22, *b*.

ЗУ с масочным программированием отличаются компактностью запоминающих элементов и, следовательно, высоким уровнем интеграции. При больших объемах производства масочное программирование предпочтительно, но при недостаточной тиражности ЗУ затраты на проектирование и изготовление шаблонов для технологического программирования ЗУ окажутся чрезмерно высокими.

### ЗУ типа PROM

В ЗУ типа PROM микросхемы программируются устранением или созданием специальных перемычек. В исходной заготовке имеются (или отсутствуют) все перемычки. После программирования остаются (или возникают) только необходимые.

Устранение части перемычек характерно ЗУ с плавкими перемычками (типа *fuse* – предохранитель). При этом в исходном состоянии ЗУ имеет все перемычки, а при программировании часть их ликвидируется путем расплавления импульсами тока достаточно большой амплитуды и длительности.

В ЗУ с плавкими перемычками эти перемычки включаются в электроды диодов или транзисторов. Перемычки могут быть металлическими или поликристаллическими. В исходном состоянии запоминающий элемент хранит логическую единицу, логический нуль нужно записать путем расплавления перемычки.

Создание части перемычек соответствует схемам, которые в исходном состоянии имеют непроводящие перемычки в виде пары встречно включенных диодов или тонких диэлектрических слоев, пробиваемых при программировании с образованием низкоомных сопротивлений. Схемы с тонкими пробиваемыми диэлектрическими перемычками (типа *antifuse*) наиболее компактны и совершенны. Их применение характерно для программирования логических СБИС.

Второй тип запоминающего элемента PROM – два диода, включенных навстречу друг другу. В исходном состоянии сопротивление цепочки велико и практически соответствует разомкнутой цепи. Для записи логической единицы к цепочке прикладывают повышенное напряжение и пробивают обратный диод. Диод пробивается с образованием в нем короткого замыкания, которое играет роль появившейся проводящей перемычки.



Запоминающие элементы с плавкими перемычками и парами диодов показаны на рис. 1.23 в исходном состоянии и после программирования.

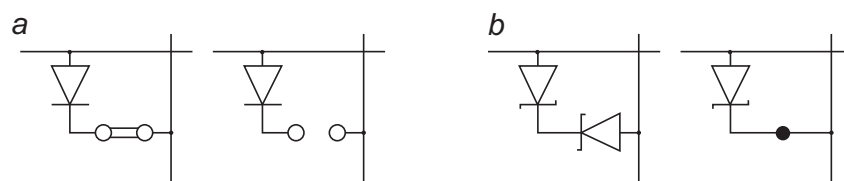


Рис. 1.23. Запоминающие элементы с плавкими перемычками (a) и диодными парами (b) в исходном состоянии и после программирования

Программирование ЗУ с плавкими перемычками реализуется простыми аппаратными средствами. Однако плавкие перемычки занимают на кристалле относительно много места. Уровень интеграции ЗУ с такими перемычками существенно ниже, чем в масочных ЗУ. В то же время простота программирования пользователем и невысокая стоимость в свое время обусловили широкое распространение ЗУ типа PROM.

### ЗУ типа EPROM и EEPROM

В репрограммируемых ЗУ типов EPROM и EEPROM ( $E^2$ PROM) возможно стирание старой информации и замена ее новой в результате специального процесса, для проведения которого ЗУ выводится из рабочего режима. Рабочий режим (чтение данных) – процесс, выполняемый с относительно высокой скоростью. Замена же содержимого памяти требует выполнения гораздо более длительных операций.

По способу стирания старой информации различают ЗУ со стиранием ультрафиолетовыми лучами (EPROM или в русской терминологии РПЗУ-УФ, т.е. репрограммируемые ПЗУ с ультрафиолетовым стиранием) и электрическим стиранием ( $E^2$ PROM или РПЗУ-ЭС).

Запоминающими элементами современных РПЗУ являются транзисторы типов МНОП и ЛИЗМОП (добавление ЛИЗ к обозначению МОП происходит от слов Лавинная Инжекция Заряда).

*МНОП-транзистор* отличается от обычного МОП-транзистора двухслойным подзатворным диэлектриком. На поверхности кристалла расположен тонкий слой двуокиси кремния  $SiO_2$ , далее – более толстый слой нитрида кремния  $Si_3N_4$  и затем уже затвор (рис. 1.24, a). На границе диэлектрических слоев возникают центры захвата заряда. Благодаря туннельному эффекту, носители заряда могут проходить через тонкую пленку окисла толщиной не более 5 нм и скапливаться на границе раздела слоев. Этот заряд и является носителем информации, хранимой МНОП-транзистором. Заряд записывают созданием под затвором напряженности электрического поля, достаточной для

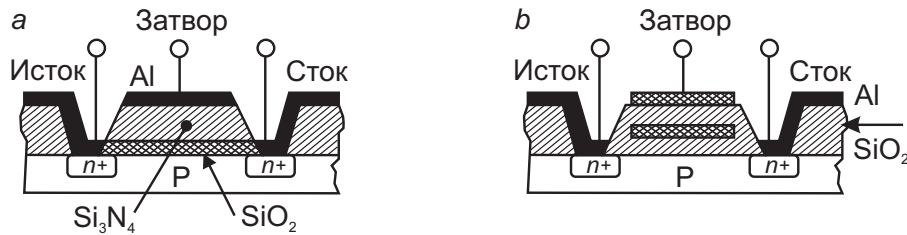


Рис. 1.24. Структуры транзисторов типов МНОП (а) и ЛИЗМОП с двойным затвором (b)

возникновения туннельного перехода носителей заряда через тонкий слой  $\text{SiO}_2$ . На границе раздела диэлектрических слоев можно создавать заряд любого знака в зависимости от направленности электрического поля в подзатворной области. Наличие заряда влияет на пороговое напряжение транзистора.

Для МНОП-транзистора с  $n$ -каналом отрицательный заряд на границе раздела слоев повышает пороговое напряжение (экранирует воздействие положительного напряжения на затворе, отпирающего транзистор). При этом пороговое напряжение возрастает настолько, что рабочие напряжения на затворе транзистора не в состоянии его открыть (создать в нем проводящий канал). Транзистор, в котором заряд отсутствует или имеет другой знак, легко открывается рабочим значением напряжения. Так осуществляется хранение бита в МНОП: одно из состояний трактуется как отображение логической единицы, другое – нуля.

При программировании ЗУ используются относительно высокие напряжения, около 20 В. После снятия высоких напряжений туннельное прохождение носителей заряда через диэлектрик прекращается и заданное транзистору пороговое напряжение остается неизменным.

После  $10^4 \dots 10^6$  перезаписей МНОП-транзистор перестает устойчиво хранить заряд. РПЗУ на МНОП-транзисторах энергонезависимы и могут хранить информацию месяцами, годами и десятками лет. Перед новой записью старая информация стирается записью нулей во все запоминающие элементы. Тип ЗУ – РПЗУ-ЭС.

*Транзисторы типа ЛИЗМОП* всегда имеют так называемый плавающий затвор, который может быть единственным или вторым, дополнительным к обычному (управляющему) затвору. Транзисторы с одним плавающим затвором используются в ЗУ типа РПЗУ-УФ, а транзисторы с двойным затвором пригодны для применения как в РПЗУ-УФ, так и в РПЗУ-ЭС. Рассмотрим более современный тип – ЛИЗМОП-транзистор с двойным затвором (см. рис. 1.24, b).

Принцип работы ЛИЗМОП с двойным затвором близок к принципу работы МНОП-транзистора – здесь также между управляющим затвором и областью канала помещается область, в которую при про-

граммировании можно вводить заряд, влияющий на величину порогового напряжения транзистора. Только область введения заряда представляет собой не границу раздела слоев диэлектрика, а окруженную со всех сторон диэлектриком проводящую область (обычно из поликристаллического кремния), в которую, как в ловушку, можно ввести заряд, способный сохраняться в ней в течение очень длительного времени. Эта область и называется плавающим затвором.

При подаче на управляющий затвор, исток и сток импульса положительного напряжения относительно большой амплитуды 20...25 В в обратно смещенных *p-n* переходах возникает лавинный пробой, область которого насыщается электронами. Часть электронов, имеющих энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера диэлектрической области, проникает в плавающий затвор. Снятие высокого программирующего напряжения восстанавливает обычное состояние областей транзистора и запирает электроны в плавающем затворе, где они могут находиться длительное время (в высококачественных приборах – многие годы).

Заряженный электронами плавающий затвор увеличивает пороговое напряжение транзистора настолько, что в диапазоне рабочих напряжений проводящий канал в транзисторе не создается.

При отсутствии заряда в плавающем затворе транзистор работает в обычном ключевом режиме.

Стирание информации может производиться двумя способами – ультрафиолетовым облучением и электрическими сигналами.

В первом случае корпус ИС имеет специальное прозрачное окошко для облучения кристалла. Двоокись кремния и поликремний прозрачны для ультрафиолетовых лучей. Эти лучи вызывают в областях транзистора фототоки и тепловые токи, что делает области прибора проводящими и позволяет заряду покинуть плавающий затвор. Операция стирания информации этим способом занимает десятки минут, информация стирается сразу во всем кристалле. В схемах с УФ-стиранием число циклов перепрограммирования существенно ограничено, т.к. под действием ультрафиолетовых лучей свойства материалов постепенно изменяются. Число циклов перезаписи у отечественных ИС равно 10...100.

Электрическое стирание информации осуществляется подачей на управляющие затворы низкого (нулевого) напряжения, а на стоки – высокого напряжения программирования. Электрическое стирание имеет преимущества: можно стирать информацию не со всего кристалла, а выборочно (индивидуально для каждого адреса). Длительность процесса “стирание-запись” значительно меньше, сильно ослабляются ограничения на число циклов перепрограммирования (допускается  $10^4 \dots 10^6$  таких циклов). Кроме того, перепрограммировать ЗУ можно, не извлекая микросхему из устройства, в котором она работает.

В то же время схемы с электрическим стиранием занимают больше места на кристалле, в связи с чем уровень их интеграции меньше, а стоимость выше. В последнее время эти недостатки быстро преодолеваются и ЭС-стирание вытесняет УФ-стирание.

Предшественниками двухзатворных ЛИЗМОП-транзисторов были однозатворные, имевшие только плавающий затвор. Эти транзисторы изготавливались обычно с *p*-каналом, поэтому введение электронов в плавающий затвор приводило к созданию в транзисторе проводящего канала, а удаление заряда – к исчезновению такого канала. При использовании этих транзисторов запоминающие элементы состоят из двух последовательно включенных транзисторов: ключевого МОП-транзистора обычного типа для выборки адресованного элемента и ЛИЗМОП-транзистора, состояние которого определяет хранимый бит. Стирание информации производится ультрафиолетовыми лучами.

Подключение двухзатворных ЛИЗМОП-транзисторов к линиям выборки строк и линиям чтения в матрицах ЗУ показано на рис. 1.25. Запись логического нуля осуществляется путем заряда плавающего за-

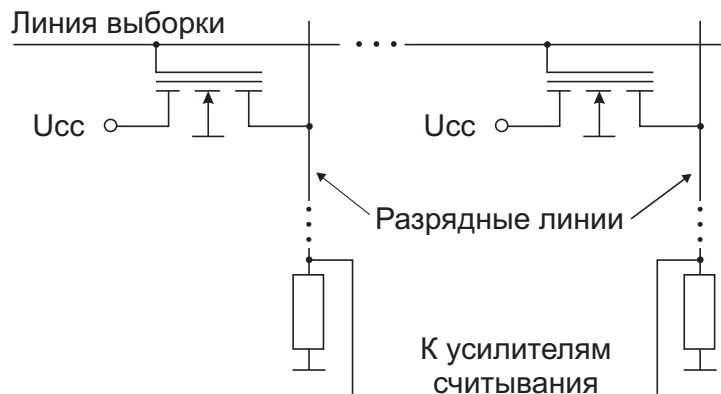


Рис. 1.25. Схема подключения ЛИЗМОП-транзисторов с двойным затвором к линиям выборки и считывания в РПЗУ

твора инжекцией “горячих” электронов в режиме программирования. Стирание информации, под которым понимается удаление заряда из плавающего затвора, приводит к записи во все запоминающие элементы логических единиц, т.к. в данном случае опрашиваемые транзисторы открываются и передают напряжение  $U_{cc}$  на линии считывания.

### 1.3.5. Статические запоминающие устройства

Область применения относительно дорогостоящих статических ОЗУ в системах обработки информации определяется их высоким быстродействием. В частности, они широко используются в кэш-памяти, которая при сравнительно малой емкости должна иметь максимальное быстродействие.

Статические ОЗУ (SRAM), как правило, имеют структуру 2DM, часть их при небольшой информационной емкости строится по структуре 2D. Запоминающими элементами статических ОЗУ служат триггеры с цепями установки и сброса. В связи с этим статические ОЗУ называют также триггерными. Триггеры можно реализовать по любой схемотехнологии (ТТЛ(Ш), И<sup>2</sup>Л, ЭСЛ, *n*-МОП, КМОП, AsGa и др.), соответственно которой существуют разнообразные схемы ЗУ. Различие в параметрах этих ЗУ отражает специфику той или иной схемотехнологии. В последнее время наиболее интенсивно развиваются статические ЗУ, выполненные по схемотехнологии КМОП, которая по мере уменьшения топологических норм технологического процесса приобретает высокое быстродействие при сохранении своих традиционных преимуществ.

### Запоминающие элементы статических ЗУ

Запоминающий элемент ЗУ на *n*-МОП транзисторах (рис. 1.26, *a*) представляет собой RS-триггер на транзисторах Т1 и Т2 с ключами выборки Т3 и Т4. При обращении к данному ЗЭ появляется высокий

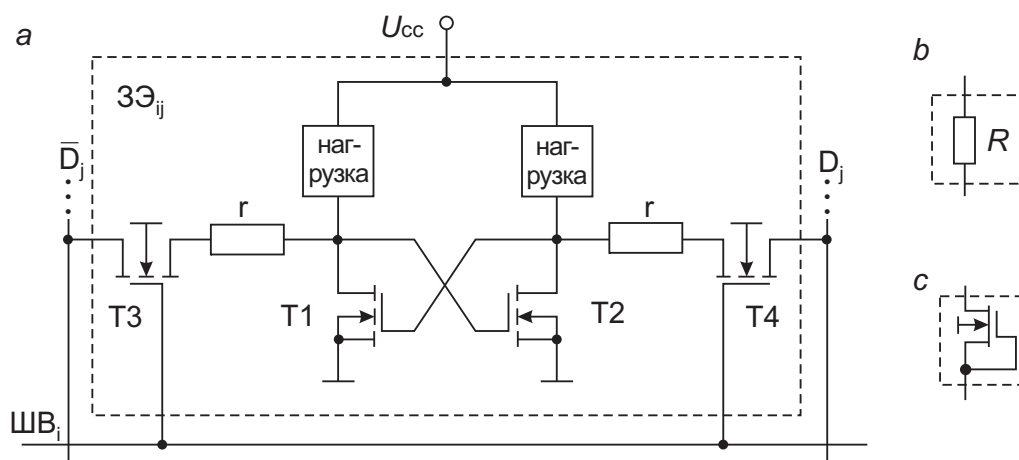


Рис. 1.26. Схема триггерного запоминающего элемента на *n*-МОП транзисторах (*a*) и варианты нагрузок для схемы триггера (*b*, *c*)

потенциал на шине выборки ШВ<sub>*i*</sub> (через *i*, *j* соответственно обозначены номера строки и столбца, на пересечении которых расположен ЗЭ<sub>*ij*</sub>). Этот потенциал открывает ключи выборки (транзисторы Т3, Т4) по всей строке, и выходы триггеров строки соединяются со столбцовыми шинами считывания-записи. Одна из столбцовых шин связана с прямым выходом триггера (обозначена через D<sub>*j*</sub>), другая – с инверсным (D<sub>*j*</sub>̄). Через столбцовые шины можно считывать состояние триггера (штриховыми линиями показан дифференциальный усилитель считывания). Через них же можно записывать данные в триггер, подавая низкий потенциал логического нуля на ту или иную шину.

При подаче нуля на выход  $\overline{D}_j$  снижается стоковое напряжение транзистора T1, что запирает транзистор T2 и повышает напряжение на его стоке. Это открывает транзистор T1 и фиксирует созданный на его стоке низкий уровень даже после снятия сигнала записи. Триггер установлен в состояние логической единицы. Аналогичным образом нулевым сигналом по шине  $D_j$  можно установить триггер в нулевое состояние. При выборке строки со своими столбцовыми шинами соединяются все триггеры строки, но только одна пара шин связывается с выходными цепями считывания или входной цепью записи в соответствии с адресом столбца.

Резисторы  $r$  служат для уменьшения емкостных токов в моменты открывания ключевых транзисторов и реализуются как части диффузионных областей этих транзисторов.

В качестве нагрузки могут быть использованы двухполюсники, показанные на рис. 1.26, *b*. В первом случае – это  $n$ -МОП транзистор со встроенным каналом и нулевым напряжением затвора, т.е. обычный элемент нагрузки в схемах с  $n$ -каналом.

Стремление к режиму микротоков привело к схеме с нагрузочным поликремниевым резистором (второй случай, нагрузка типа рис 1.26, *c*). Высокоомные нагрузочные резисторы изготавливаются из поликристаллического кремния и пространственно расположены над областью транзисторов, что придает схеме также и высокую компактность. Режим микротоков нужен для кристаллов высокого уровня интеграции, но он создает и ряд трудностей, в первую очередь – низкую скорость переключения триггера (микротоки не в состоянии быстро перезарядать паразитные емкости схемы) и маломощность выходных сигналов. Первый недостаток преодолевается тем, что триггер переключается под воздействием мощных сигналов записи информации через ключевые транзисторы, а не за счет только внутренних токов цепей обратных связей. Вторая особенность требует применения высокочувствительных усилителей считывания. Это объясняет использование так называемых усилителей-регенераторов в статических ЗУ (ранее они были характерны только для динамических).

Запоминающие элементы статических ОЗУ (КМОП технология), показаны на рис. 1.27, *a* в обозначениях США. Эти элементы построены так же, как и элементы на  $n$ -МОП транзисторах, и не требуют дополнительных пояснений.

### Выходной каскад с третьим состоянием

На рис 1.27, *b* показан выходной каскад с третьим состоянием, используемый в КМОП ЗУ. Низкий уровень сигнала  $\overline{CS}$  и высокий уровень сигнала  $R/W$ , означающие разрешение операции чтения, создают

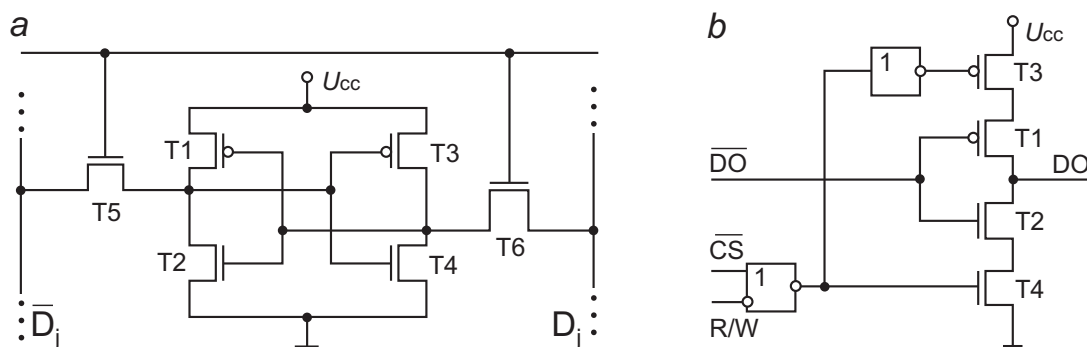


Рис. 1.27. Схемы триггерного запоминающего элемента (a) и выходного каскада (b) в схемотехнике КМОП

на выходе элемента ИЛИ-НЕ высокий уровень логической единицы, открывающий транзисторы T3 и T4 и тем самым позволяющий нормально работать инвертору на транзисторах T1 и T2, через который данные передаются на выход. При всех иных комбинациях сигналов  $\overline{CS}$  и R/W выход элемента ИЛИ-НЕ имеет низкий уровень логического нуля, при котором транзисторы T3 и T4 заперты и выход DO находится в состоянии “отключено”.

### 1.3.6. Динамические запоминающие устройства

В динамических ЗУ (DRAM) данные хранятся в виде зарядов емкостей МОП-структур и основой ЗЭ является просто конденсатор небольшой емкости. Такой ЗЭ значительно проще триггерного, содержащего 6 транзисторов, что позволяет разместить на кристалле намного больше ЗЭ (в 4...5 раз) и обеспечивает динамическим ЗУ максимальную емкость. В то же время конденсатор неизбежно теряет со временем свой заряд, и хранение данных требует их периодической регенерации (через несколько миллисекунд).

#### Запоминающие элементы

Известны конденсаторные ЗЭ разной сложности. В последнее время практически всегда применяют однотранзисторные ЗЭ – лидеры компактности, размеры которых настолько малы, что на их работу стали влиять даже  $\alpha$ -частицы, излучаемые элементами корпуса ИС.

Электрическая схема и конструкция однотранзисторного ЗЭ показаны на рис. 1.28. Ключевой транзистор отключает запоминающий конденсатор от линии записи-считывания или подключает его к ней. Сток транзистора не имеет внешнего вывода и образует одну из обкладок конденсатора. Другой обкладкой служит подложка. Между обкладками расположен тонкий слой диэлектрика – оксида кремния  $SiO_2$ .

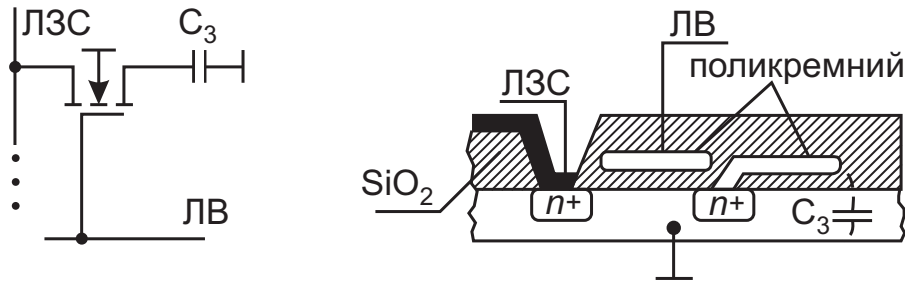


Рис. 1.28. Схема и структура запоминающего элемента динамического ЗУ

В режиме хранения ключевой транзистор заперт. При выборке данного ЗЭ на затвор подается напряжение, отпирающее транзистор. Запоминающая емкость через проводящий канал подключается к линии записи-считывания и в зависимости от заряженного или разряженного состояния емкости различно влияет на потенциал линии записи-считывания. При записи потенциал линии записи-считывания передается на конденсатор, определяя его состояние. Считывание является разрушающим – подключение запоминающей емкости к линии записи-считывания изменяет ее заряд. Мерами преодоления отмеченных недостатков служат способы увеличения емкости (без увеличения площади ЗЭ), уменьшения емкости линий записи-считывания и применение усилителей регенераторов для считывания данных.

### ЗУ повышенного быстродействия

Современные микропроцессоры характеризуются высоким быстродействием. Это требует и увеличения скорости работы ОЗУ, обменивающихся информацией с процессорами. Особенно остро эта задача стоит перед разработчиками динамических ОЗУ, которые благодаря максимальной информационной емкости и низкой стоимости занимают ведущее место в составе основной памяти компьютеров.

В последнее время предложен ряд вариантов динамических ОЗУ повышенного быстродействия. *Методы, использованные в этих ОЗУ, основаны на предположении о кучности адресов при обращениях к ОЗУ.* Это отвечает тенденции, проявляющейся при выполнении самых разных программ и состоящей в том, что адреса последующих обращений к ОЗУ вероятнее всего расположены рядом с адресом текущего обращения.

**Вариант FPM.** Вариант FPM (Fast Page Mode, быстрый страничный режим доступа) эффективен, если после обращения к некоторому ЗЭ следующее обращение будет к ЗЭ в той же строке. Сравним такую ситуацию с более общей.



При чтении по произвольному адресу старший полуадрес выбирает строку, затем младший полуадрес выбирает столбец в матрице ЗЭ. При этом сначала требуется перезарядить шину выборки строки, а затем шину выборки столбца, что сопровождается соответствующими задержками.

При обращении к строке (странице) во всех ЗЭ строки проходят процессы, соответствующие двум первым фазам полного цикла обмена, и эти элементы готовы к выполнению очередных фаз. При обращении к данным в пределах одной страницы адрес строки остается неизменным, изменяются только адреса столбцов. Изменяет состояние фактически только определенная группа ключей. Пока не изменился номер страницы, в циклах обмена исключены некоторые этапы, что сокращает длительность циклов.

Режим FPM – начало линии развития методов повышения быстродействия динамических ЗУ. По быстродействию его возможности уже намного превышены более поздними разработками, тем не менее метод FPM находит свою область применения, и соответствующие ЗУ до сих пор занимают достаточно большой сектор рынка.

Дополнительные средства для организации режима FPM просты: требуется лишь проверять принадлежность очередного адреса текущей странице (строке), что позволяет выполнять цикл страничного режима. В противном случае требуется выполнение обычного (полного) цикла. Разработанные ОЗУ типа FPM обеспечивают времена обращения к ЗУ 30...40 нс, что допускает их работу с процессорными шинами на тактовой частоте до 33 МГц.

**Структуры типа EDORAM.** Структуры типа EDORAM (Extended Data Out RAM, т.е. ОЗУ с расширенным выводом данных) близки к структурам FPM и отличаются от них модификацией процесса вывода данных. В EDORAM данные в усилителях-регенераторах не сбрасываются. При этом на кристалле как бы появляется статический регистр, хранящий строку. При обращениях в пределах строки (страницы) используется чтение данных из регистра, т.е. быстродействующей статической памяти. Это увеличивает быстродействие ЗУ. Разработанные EDORAM допускают работу на частотах до 50 МГц. Такие ЗУ получили широкое распространение, в частности, из-за тесной преемственности с разработанными ранее ЗУ типа FPM, замена которых на EDORAM требует лишь небольших изменений в схеме и синхросигналах ЗУ.

**Структуры типа BEDORAM.** В структуре типа BEDORAM (Burst EDORAM, т.е. с пакетным расширенным доступом) содержится дополнительно счетчик адресов столбцов. При обращении к группе слов

(пакету) адрес столбца формируется обычным способом только в начале пакетного цикла. Для последующих передач адреса образуются быстро с помощью инкрементирования счетчика. Память типа BEDORAM не получила широкого распространения из-за появления сильного конкурента – синхронных DRAM (SDRAM).

**Структуры типа MDRAM.** В структурах MDRAM (Multibank DRAM, многобанковые ОЗУ) память делится на части (банки). Обращение к банкам поочередное, чем исключается ожидание перезаряда шин. Пока считываются данные из одного банка, другие имеют “передышку” на подготовку, после которой появляется возможность обращения к ним без дополнительного ожидания. При нарушении очередности и повторном обращении к тому же банку выполняется полный цикл обращения к памяти. Чем больше банков, тем меньше будет повторных последовательных обращений в один и тот же банк. Поскольку процессор чаще всего считывает данные по последовательным адресам, то эффект ускорения работы ЗУ достигается уже при делении памяти всего на два блока, а именно на один с нечетными адресами, другой – с четными. Банки ЗУ типа MDRAM могут строиться на обычных DRAM без каких-либо схемных изменений.

**Структуры типа SDRAM.** Хотя переход от базовой структуры DRAM к архитектурам FPM и EDORAM повысил быстродействие памяти, этого оказалось недостаточно для современных компьютеров и графических систем. Память типа SDRAM (Synchronous DRAM) заняла сейчас важное место в качестве быстродействующей памяти с высокой пропускной способностью. В SDRAM синхросигналы памяти тесно увязаны с тактовой частотой системы, в них используется конвейеризация тракта продвижения информации, может применяться многобанковая структура памяти и др. Синхронные DRAM появились в 1994 г. в виде двухбанковых систем с трехступенчатым конвейером и имели пропускную способность 250 Мбайт/с. Эти ЗУ работали на частоте 125 МГц при  $U_{cc} = 3.3$  В и топологической норме 0.5 мкм. Причем площадь кристалла (113.7 мм<sup>2</sup>) практически не отличалась от площади кристаллов обычных DRAM той же емкости.

До более подробного ознакомления с памятью типа SDRAM рассмотрим общий вопрос о конвейеризации трактов обработки информации. Сущность конвейеризации заключается в разбиении трактов обработки информации на ступени. На рис. 1.29, а показан тракт обработки данных, содержащий входной и выходной регистры и логическую схему между ними. Исходя из тезиса о возможности подачи новых входных данных только после окончания обработки старых,

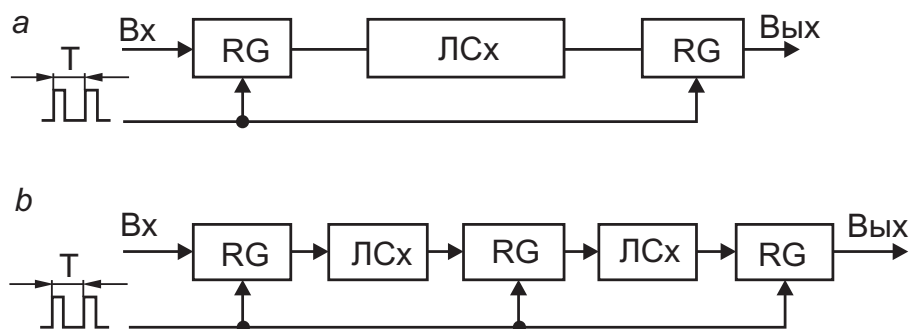


Рис. 1.29. Исходный (a) и конвейеризированный (b) тракты обработки цифровой информации

получим минимальный период тактовых импульсов для этой схемы:

$$T_{\min} = t_{\text{pг}} + t_{\text{кц}} + t_{\text{су}}, \quad (1.2)$$

где  $t_{\text{pг}}$  – задержка входного регистра на пути “такт-выход”;  $t_{\text{кц}}$  – задержка сигнала в комбинационной цепи (логической схеме);  $t_{\text{су}}$  – время предустановки выходного регистра.

Уменьшения  $T_{\min}$ , т.е. повышения частоты тактовых импульсов, можно добиться снижением  $t_{\text{кц}}$  путем расщепления логической схемы на ступени, разделенные регистрами (рис. 1.29, b). Если логическая схема расщепляется по глубине ровно пополам, то новое значение минимального периода тактовых импульсов определится тем же соотношением, что и для схемы, показанной на рис. 1.29, a, однако численное значение задержки логической схемы нужно будет уменьшить вдвое.

Применение конвейера увеличивает поток информации от входа к выходу за единицу времени, хотя, в то же время, единица информации проходит от входа к выходу за большее время, чем в схеме без конвейеризации.

В микросхемах SDRAM внешние управляющие сигналы фиксируются положительными фронтами тактовых импульсов и используются для генерации команд, управляющих процессами в ЗУ. Первое слово после формирования адреса появляется с запаздыванием на несколько тактов (Access Latency). Время доступа при этом “обычное”, т.е. такое, каким бы оно было в стандартном ЗУ. Работу конвейера можно определить как параллельное функционирование последовательно активизируемых блоков. В микросхемах SDRAM предусматривают возможность регулировки запаздывания первого доступа в целях приспособления памяти к частотным требованиям системы и длины пакета, в котором слова читаются или записываются в каждом такте после единственной команды.

**Структуры типа RDRAM.** Микросхемы названы по имени фирмы разработчика – Rambus (RDRAM – Rambus DRAM). Они пред-

ставляют собою байт-последовательную память с очень высоким темпом передачи байтов. Основными новшествами архитектурного плана являются синхронизация обоими фронтами тактовых импульсов и специальный новый интерфейс Rambus Channel. Синхронизация принципиально сходна с применяемой в SDRAM.

В первой разработке при частоте тактовых импульсов 250 МГц получен темп 1 передачи байтов 500 МГц (2 нс/байт). В дальнейшем частота повысилась еще в 1.5...3 раза.

Интерфейс Rambus Channel имеет всего 13 сигнальных линий, что значительно меньше, чем у традиционных микросхем памяти. В интерфейсе нет специализированных адресных линий. Вместо обычной адресации по интерфейсу посылаются пакеты, включающие в себя команды и адреса. Вначале посылается пакет запросов, на который память отвечает пакетом подтверждения, после чего идет пакет данных. Из-за такого процесса первый доступ к данным оказывается сильно запаздывающим. В первой разработке запаздывание составляло 128 нс. Поэтому при чтении отдельных слов RDRAM совершенно неэффективна. Средняя частота передачи байтов зависит от длины пакета данных. При обмене пакетами по 256 байт средняя частота будет 400 МГц (к 2 нс добавляется 0.5 нс на байт), при пакетах по 64 байта – 250 МГц и т.д.

RDRAM идеально подходит для графических и мультимедийных приложений с типичным для них процессом – быстрой выдачей длинной последовательности слов для формирования изображения на экране или сходных с этим задач.

**Структуры типа DRDRAM.** Это близкий родственник RDRAM, называемый Direct RDRAM (DRDRAM). В этой разновидности архитектуры RDRAM преодолен такой фактор, как большое время запаздывания при первом доступе к данным. Естественно, это расширило область использования DRDRAM.

Сегодня в области быстродействующих DRAM доминируют синхронные (SDRAM). Для некомпьютерных применений, требующих больших емкостей памяти, эта ситуация может сохраниться на многие годы. В компьютерных схемах DRDRAM представляется сильной альтернативой. Имея времена первого доступа, такие же как у SDRAM, DRDRAM не деградируют по скорости при произвольных обращениях больше, чем обычные синхронные DRAM. Пропускная же способность у них продолжает увеличиваться. Уже имеются микросхемы DRDRAM с 16-разрядным интерфейсом (первоначальные варианты RDRAM имели 8-разрядные). При работе на тактовой частоте 400 МГц и схемотехнике DDR (Double Data Rate), предусматривающей тактирование процессов обоими фронтами импульсов, такие

DRDRAM дают пропускную способность (Bandwidth) внутри пакета 1.6 Гбайт/с. Можно сказать, что в извечной гонке с процессорами ЗУ впервые из догоняющих стали опережающими, поскольку цифру 1.6 Гбайт/с сейчас вряд ли можно использовать в системах.

**Структуры типа CDRAM.** В структурах CDRAM (Cached DRAM, кэшированная DRAM) на одном кристалле с DRAM размещена статическая кэш-память (кэш первого уровня). При этом кэш обеспечивает быстрый обмен с процессором, если информация находится в кэше, а также быстрое обновление своего содержимого. Последняя возможность связана с тем, что размещение кэша на одном кристалле с DRAM делает связи между ними внутренними (реализуемыми внутри кристалла), а в этом случае разрядность шин может быть большой и обмен может производиться большими блоками данных. Например, в CDRAM фирмы Ramtron применена 2048-разрядная шина для обновления содержимого кэша. Как синоним обозначения CDRAM иногда используется обозначение EDRAM (Enhanced DRAM). Кэширование, как и всегда, эффективно при выполнении программ, для которых промахи относительно кэша достаточно редки.

### 1.4. Устройства обработки данных и управления

#### 1.4.1. Устройство обработки данных

Устройство обработки данных выполняет арифметические и логические операции. К арифметическим операциям относят сложение, вычитание, умножение и деление. В предельном случае список арифметических операций может ограничиваться лишь операцией сложения. Логические операции выполняются поразрядно без учета переносов. Типичный список логических операций: конъюнкция (логическое ИЛИ), дизъюнкция (логическое И), инверсия (логическое отрицание), сложение по модулю два (исключающее ИЛИ) и операции сдвига.

Функциональная схема устройства обработки (рис. 1.30) состоит из АЛУ, аккумулятора, регистра временного хранения (Рег.вр.хр.), регистров общего назначения (РОН), регистра признаков и регистра сдвига. Рассмотрим их подробнее в порядке возрастания сложности.

#### Регистры аккумулятор и временного хранения

Регистр аккумулятор (накопитель) служит для размещения одного из операндов АЛУ. При выполнении операции в аккумулятор записывается результат операции. Это возможно в силу специальной схемотехники аккумулятора.

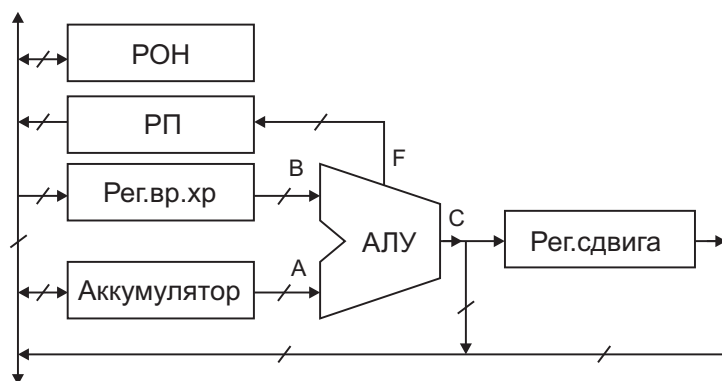


Рис. 1.30. Функциональная схема устройства обработки

Регистр временного хранения служит для размещения второго операнда АЛУ при выполнении бинарных (двухоперандовых) операций. По своей конструкции это обычный регистр-защелка.

### Регистр признаков

Регистр признаков (флаговый регистр) предназначен для хранения битовых признаков (флагов), необходимых для работы АЛУ. Типичный состав хранимых признаков: С – перенос (заем), Z – нуль, S – знак числа, P – четность. В конкретном процессоре могут поддерживаться и другие признаки. Разрядность регистра признаков обычно совпадает с разрядностью обрабатываемых данных.

### Регистры общего назначения

Регистры общего назначения представляют собой набор из нескольких регистров и служат для временного хранения промежуточных результатов и данных. РОН размещаются обычно на одном кристалле с процессором и доступны по короткому внутреннему адресу, минуя внешние шины адреса и данных. В этой связи время доступа к РОН гораздо короче такового для ячеек основной памяти. Отсюда другое название регистров общего назначения – сверхоперативное запоминающее устройство (СОЗУ).

### Регистр сдвига

Регистр сдвига служит для аппаратного выполнения функций сдвига данных на один разряд в сторону старшего бита (сдвиг влево) или в сторону младшего бита (сдвиг вправо).

Содержимое одного из крайних разрядов выдавливается из регистра сдвига наружу и во всех случаях перемещается в бит переноса С регистра признаков (рис. 1.31).

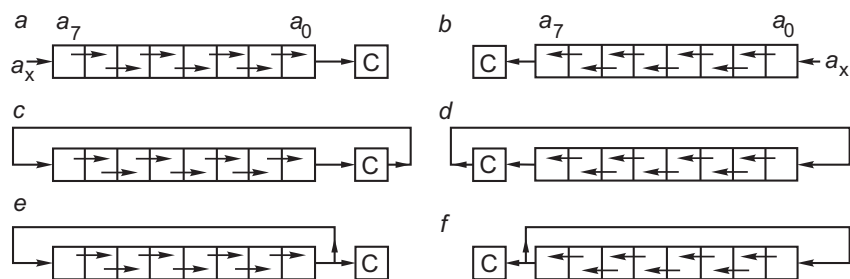


Рис. 1.31. Выполнение операций линейного (*a, b*) и циклического (*c – f*) сдвигов в регистре

Другой крайний разряд регистра сдвига заполняется битом данных  $a_x$ , поступающих извне. Операции сдвига классифицируют по источнику этого бита.

*Линейные сдвиги* (рис. 1.31, *a, b*) разделяют на арифметические и логические сдвиги.

При *линейном арифметическом сдвиге* бит  $a_x = 0$ . С точки зрения двоичной арифметики эти сдвиги соответствуют умножению (сдвиг влево) и делению (сдвиг вправо) на два.

При *линейном логическом сдвиге* не происходит поступления бита данных извне. Крайний разряд сохраняет свое значение и копируется в соседний разряд регистра сдвига. Говорят, что происходит размножение содержимого крайнего разряда. Через определенное количество сдвигов весь регистр будет заполнен содержимым крайнего бита.

При *циклических сдвигах* (рис. 1.31, *c – f*) крайние биты логически соединены между собой и данные при сдвиге перемещаются по кольцу. Бит переноса *C* при этом может входить в состав кольца (циклический сдвиг через бит переноса), либо оставаться вне кольца.

### Арифметико-логическое устройство

Пример организации простейшего АЛУ приведен на рис. 1.32. На входах *A* и *B* АЛУ расположены электронные переключатели - мультиплексоры (MUX). Адресные линии MUX позволяют выбрать один из четырех источников данных: входные данные АЛУ, инверсное значение входных данных, арифметическая единица, нуль. Выходы мультиплексоров подключены одновременно к арифметическому сумматору и комбинационным логическим схемам. Управляющие линии ( $a_1 a_0$ ) позволяют настроить комбинационные схемы на выполнение одной из логических операций. Выходы сумматора и комбинационных логических схем коммутируются выходным мультиплексором, который позволяет передать на выход АЛУ результат арифметической либо логической операции. Признаки переноса или заема, возникающие в результате выполнения арифметических операций, передаются в регистр признаков.

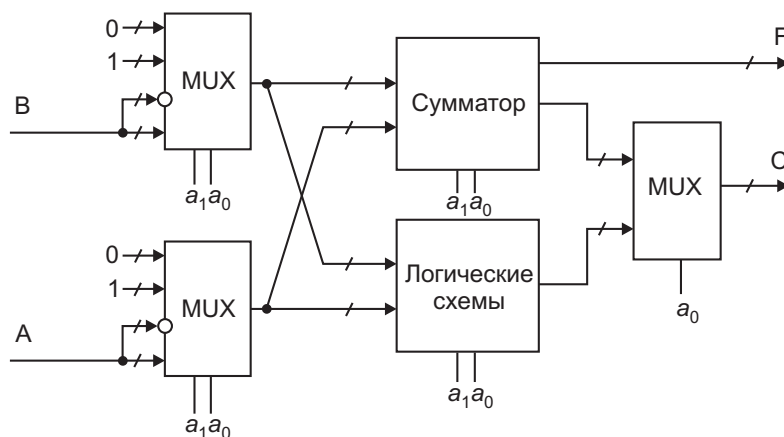


Рис. 1.32. Функциональная схема арифметико-логического устройства

Рассмотрим пример работы АЛУ при выполнении арифметической операции “5 минус 7”. Первый операнд (5) находится в регистре временного хранения (вход В), а второй (7) находится в аккумуляторе (вход А). Для рассматриваемой схемы АЛУ данная операция реализуется с помощью двух микроопераций:

1) *Получение дополнительного кода числа (-7)*. Для этого MUX(A) подключен к инверсному входу канала А, MUX(B) – к единице, выход АЛУ подключен через выходной мультиплексор к сумматору. В результате выполнения микрооперации в аккумуляторе размещается дополнительный код числа минус 7:  $(\bar{7} + 1)$ ;

2) *Сложение двух операндов*. Мультиплексоры MUX(A) и MUX(B) подключаются к прямым входам данных, выход АЛУ подключен к сумматору. В результате выполнения микрооперации в аккумуляторе получаем сумму числа 5 и дополнительного кода числа минус 7:  $(5 + (\bar{7} + 1))$ . Это и есть искомый результат.

Все настройки при выполнении микроопераций проводились с помощью управляющих линий типа  $(a_1 a_0)$ . Для относительно простых устройств количество управляющих линий может быть 20–30, а более сложные устройства могут иметь 70–100 и более линий управления. Все подобные линии управления обычно упорядочивают путем подключения к специальному регистру. Это позволяет сопоставить каждой допустимой микрооперации определенный управляющий код, загружаемый в данный регистр. Подобный управляющий код называют микрокомандой, а сам регистр – регистром микрокоманд. Управление электронными схемами при помощи микрокоманд называют микропрограммным управлением.

### ***Принцип микропрограммного управления***

- любая операция, реализуемая устройством, является последовательностью элементарных действий – микроопераций;



- для управления порядком следования микроопераций используются логические условия;
- процесс выполнения операций в устройстве описывается в форме алгоритма, представляемого в терминах микроопераций и логических условий, называемого микропрограммой;
- микропрограмма используется как форма представления функции устройства, на основе которой определяются структура и порядок функционирования устройства во времени.

### 1.4.2. Устройство управления

Устройство управления формирует распределенную во времени и пространстве последовательность внутренних и внешних управляющих сигналов, обеспечивающих выборку, декодирование и выполнение команд.

Два подхода к организации устройства управления: первичный управляющий автомат (ПУА) и микропрограммное устройство управления.

#### Устройство управления на базе ПУА

Микрокоманды хранятся в виде аппаратных связей первичного управляющего автомата, который тактируется тактовым генератором ТГ (рис. 1.33). Управляющий автомат вырабатывает адрес для выборки и помещает его в регистр адреса (счетчик команд) РС. Код

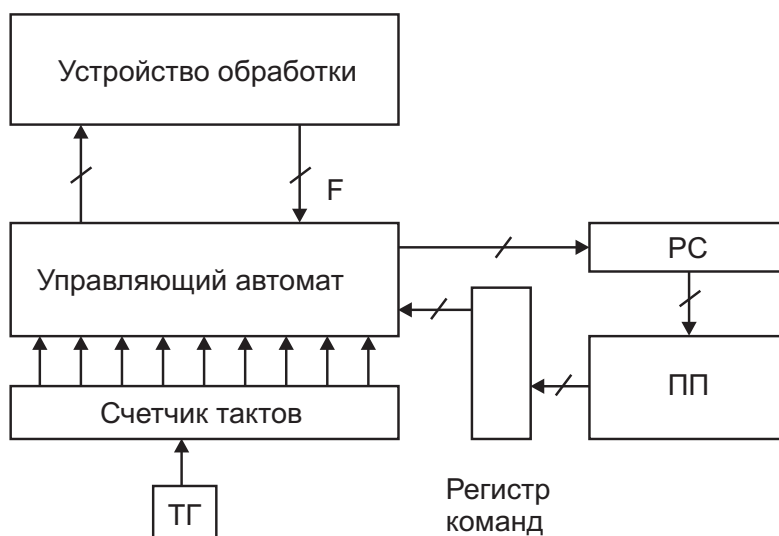


Рис. 1.33. Устройство управления на основе первичного управляющего автомата

операции, хранящийся в адресованной ячейке, выдается из памяти программ (ПП) в регистр команд. Далее происходит декодирование

кода операции, и управляющий автомат вырабатывает распределенную во времени и пространстве последовательность управляющих сигналов, являющихся аналогом микрокоманды. Управляющий код поступает в регистр микрокоманд устройства обработки, настраивая его на выполнение заданной микрооперации. Процесс “выборки - декодирования - выполнения” повторяется периодически, обеспечивая выполнение алгоритма программы.

Процесс выборки кодов операций может испытывать ветвление под действием того или иного признака. На схеме (см. рис. 1.33) показана обратная связь от устройства обработки через признаки  $F$ .

### Микропрограммное устройство управления

В микропрограммном устройстве управления (рис. 1.34) последовательности микрокоманд, реализующие выполнение заданной опе-

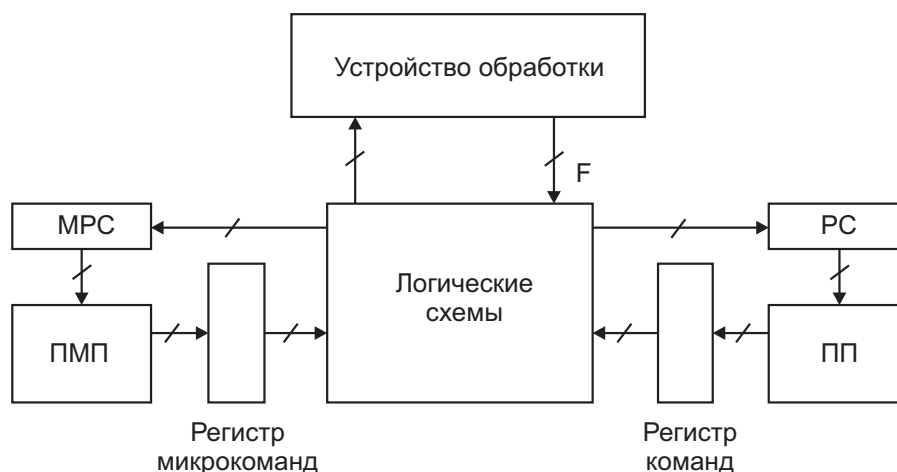


Рис. 1.34. Микропрограммное устройство управления

рации, хранятся в виде микропрограмм в специальном запоминающем устройстве – памяти микропрограмм (ПМП). Схема выборки из памяти программ похожа на предыдущий случай: логические схемы управления вырабатывают адрес для выборки кода операции, помещают этот адрес в регистр РС, код операции из ПП поступает в регистр команд.

В процессе декодирования логические схемы управления определяют стартовый адрес микропрограммы в памяти микропрограмм и помещают этот адрес в регистр адреса микрокоманд (МРС). Производится выборка микрокоманды из памяти микропрограмм в регистр микрокоманд и ее выдача в устройство обработки. Затем по порядку выбираются следующие микрокоманды, пока не будет выполнена вся микропрограмма, соответствующая заданной операции. Процесс выборки микрокоманд может испытывать ветвление в зависимости от признаков  $F$ , поступающих из устройства обработки.

### 1.4.3. Организация микрокоманд

*Микрокоманда* – это многоразрядное управляющее слово, обеспечивающее выполнение заданной микрооперации. Микрокоманды состоят из *полей* – групп разрядов, объединенных по функциональному назначению. На рис. 1.35 приведен пример структуры микрокоманды.



Рис. 1.35. Структура микрокоманды

Для обозначения полей микрокоманды использованы типовые обозначения: МКОП – код микрооперации; АСМК – адрес следующей микрокоманды; КПр – код признаков; Др. поля – прочие поля микрокоманды.

Оптимизация микрокоманд позволяет ускорить обработку микрокоманд и снизить требования к системным ресурсам для их хранения. Рассмотрим основные пути оптимизации микрокоманд: определение совместимости во времени этапов выборки и выполнения микрокоманд; анализ способа формирования адреса следующей микрокоманды; выбор способа кодирования микрокоманд; выбор типа синхронизации при формировании микроопераций.

#### Оптимизация этапов выборки и выполнения

В последовательной схеме этапы выборки и выполнения (реализации) микрокоманд следуют друг за другом, занимая смежные временные промежутки (рис. 1.36, *a*). Выборка осуществляется устройством

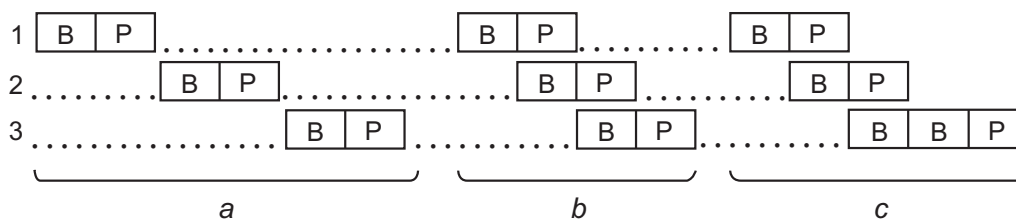


Рис. 1.36. Этапы выборки (В) и выполнения (реализации – Р) микрокоманды

управления, а выполнение – устройством обработки. На этапах выборки и выполнения работают разные функциональные узлы, поэтому иногда эти этапы возможно осуществлять параллельно: выполнение текущей и выборку следующей микрокоманд.

Параллельная схема (рис. 1.36, *b*) позволяет ускорить выполнение микропрограммы и, следовательно, команды за счет оптимального расположения во времени этапов выполнения текущей и выборки следующей микрокоманд. Недостаток такой схемы проявляется в точках

ветвления микропрограммы, когда заранее неизвестно, какую следующую микрокоманду необходимо выбирать из памяти микропрограмм. Это становится известным только после завершения выполнения текущей микрокоманды.

Параллельно-последовательная схема приведена на рис. 1.36, *с*. На линейных участках микропрограмма работает по параллельной схеме. В точках ветвления также производится упреждающая выборка следующей микрокоманды, но после выполнения текущей микрокоманды сначала производится проверка правильности сделанной выборки. Если выборка сделана правильно, то выбранная микрокоманда выполняется, а если выборка была ошибочной, то производится новая выборка. Далее, на линейных участках снова реализуется параллельная схема. Задержка во времени в точках ветвления носит статистический характер. Количество точек ветвления в микропрограмме заметно уступает количеству микрокоманд на линейных участках. В целом параллельно-последовательная схема по скорости выполнения микропрограмм может в пределе приближаться к параллельной схеме.

### Оптимизация формирования АСМК

Поле АСМК содержит адрес следующей микрокоманды, т.е. микрокоманды, которую следует выбирать из памяти после выполнения текущей микрокоманды. Связь микрокоманд через поле АСМК определяет последовательность их выборки при выполнении микропрограммы. Такая система формирования адреса может работать и на линейных участках микропрограммы и в точках ветвления (рис. 1.37).

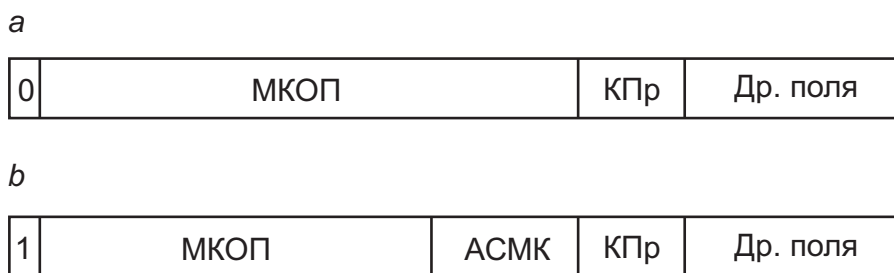


Рис. 1.37. Структура линейной (*a*) и управляющей (*b*) микрокоманд

Легко однако видеть, что на линейных участках микропрограммы такая система является избыточной, т.к. здесь вполне можно обойтись без поля АСМК. Действительно, если микрокоманды расположить в правильной последовательности друг за другом по возрастанию адресов ячеек памяти, то адрес следующей микрокоманды легко сформировать аппаратно. Для этого нужно инкрементировать (увеличить на

единицу) адрес текущей микрокоманды. Данный способ называют автоинкрементным способом формирования адреса. Исключение поля АСМК из микрокоманды при этом позволяет уменьшить длину микрокоманд на 8–10 разрядов.

Для микрокоманд условных переходов автоинкрементный способ формирования АСМК неприменим, т.к. возможны варианты АСМК в зависимости от результата предыдущей операции и содержимого поля КПр. Микрокоманды условных переходов должны иметь принудительную передачу управления по заданному в поле АСМК адресу. Это требует иной структуры микрокоманды для передачи управления, а именно – наличия поля АСМК.

На практике реализуют одновременно оба типа микрокоманд, отличающиеся структурой полей: без поля АСМК – для линейных микрокоманд, и с полем АСМК – для микрокоманд передачи управления. Для облегчения их идентификации при декодировании в структуру микрокоманды обычно вводят однобитовое поле (см. рис. 1.37), несущее информацию о типе микрокоманды: 0 – линейная, 1 – управляющая.

### Кодирование микрокоманд

Микрокоманды характеризуются высокой разрядностью (30–40 для простых устройств и 70–100 для устройств среднего класса сложности). В то же время система микрокоманд содержит, как правило, только несколько сотен неповторяющихся кодов. Иными словами, микрокоманды имеют избыточную разрядность. Легко подсчитать, что при этом используется лишь одна миллиардная часть допустимых состояний микрокоманд. Это является основанием для их кодирования, т.е. уменьшения разрядности микрокоманд без потери содержащейся в них информации. Микрокоманды хранятся и пересылаются в закодированном виде, а перед выполнением подвергаются процессу декодирования. Для декодирования используется аппаратный дешифратор, преобразующий микрокоманду в исходное состояние.

Выбор способа кодирования микрокоманд определяется системой команд, структурой процессора, требованиями к быстродействию и стоимости и представляет собой очень сложную задачу. Ниже рассматриваются основные способы кодирования микрокоманд.

**Горизонтальное кодирование.** Простейшим вариантом кодирования микрокоманд является горизонтальное кодирование, при котором каждый разряд поля кода микрооперации однозначно определяет управляющий сигнал для выполнения микрооперации (см. рис. 1.35). Из-за большого набора микроопераций (от нескольких десятков до нескольких сотен) горизонтальное кодирование может потребовать

большой разрядности памяти микрокоманд, что и является основным его недостатком. Достоинством горизонтального кодирования является возможность параллельной работы нескольких устройств обработки, что позволяет существенно повысить быстродействие и приводит к высокой степени загрузки оборудования. Цель декодирования – преобразовать микрокоманду в горизонтальное представление.

**Вертикальное кодирование.** Другим, противоположным, подходом к кодированию микрокоманд в целях максимального сокращения разрядности полей микрокоманды является вертикальное кодирование (рис. 1.38). При этом способе микрокоманда кодируется как единое

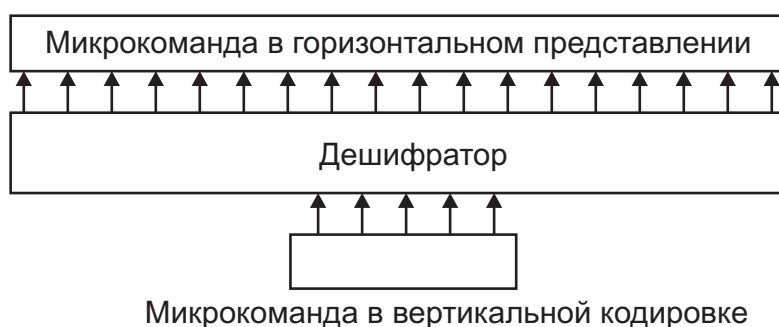


Рис. 1.38. Вертикальное кодирование микрокоманд

целое, без учета внутренней структуры. Для декодирования микрокоманд в вертикальном представлении требуется дополнительный дешифратор микроопераций, а кроме того, увеличивается время выполнения микрокоманды за счет временных задержек в дешифраторе и отсутствует возможность одновременного формирования нескольких микроопераций.

**Смешанное кодирование.** Развитием способов кодирования микрокоманд в целях устранения основных недостатков, присущих горизонтальному и вертикальному способам, является горизонтально-вертикальное, или смешанное, кодирование микрокоманд (рис. 1.39). При данном варианте кодирования в отдельных полях кода микроопераций объединяют взаимоисключающие наборы микроопераций для обеспечения их параллельного выполнения, как это имеет место при чисто горизонтальном кодировании. Микрокоманда кодируется с учетом ее внутренней структуры: любые поля или группы полей кодируются отдельно. Степень сжатия при этом способе кодирования меньше, чем для вертикального кодирования, но потери времени на этапе декодирования уменьшены, т.к. каждая группа имеет свой дешифратор – декодирование групп идет параллельно. Дешифраторы, декодирующие код микрооперации отдельных полей, образуют уровень

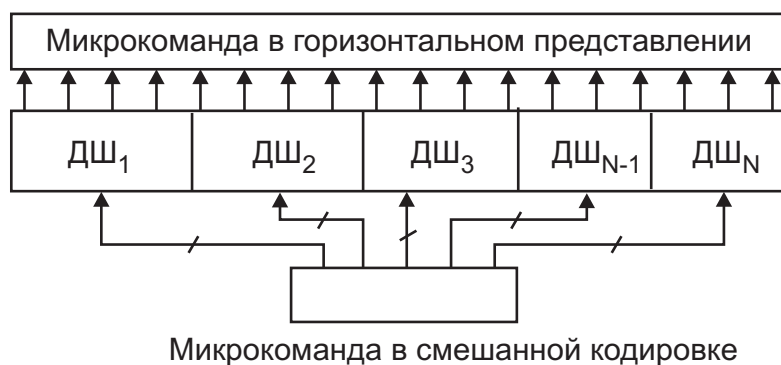


Рис. 1.39. Смешанное кодирование микрокоманд

схем дешифрации микроопераций, реализуемых в каждом поле в течение одного микрокомандного цикла. Данный способ кодирования находит широкое применение в микропрограммных устройствах.

**Косвенное кодирование.** В рассмотренных выше вариантах кодирования микрокоманд каждое поле МКОП формирует определенные фиксированные управляющие сигналы и интерпретируется всегда одинаковым образом. Однако в некоторых процессорах в целях дальнейшего сокращения разрядности микрокоманды одно и то же поле может быть использовано для формирования управляющих сигналов для различных блоков, и его функции в этом случае определяются другим полем. Переменные форматы сокращают разрядность микрокоманды, но требуют введения дополнительных дешифраторов, логических схем и приводят к временным задержкам из-за коммутации полей микрокоманды (рис. 1.40). Косвенное кодирование похоже на смешанное кодирование, в котором из микрокоманды изъяты группы разрядов, не несущих информации по текущей микрооперации.

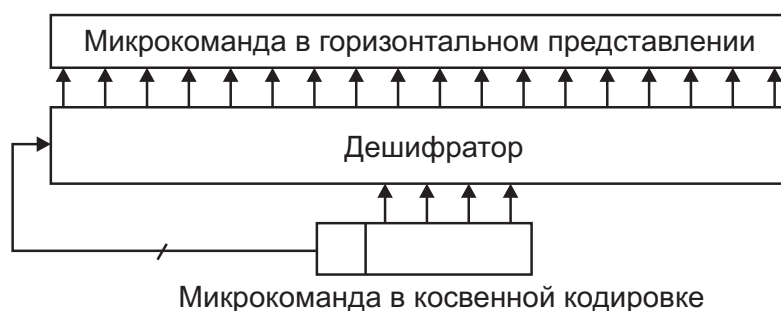


Рис. 1.40. Косвенное кодирование микрокоманд

**Двухуровневое кодирование.** В современных процессорах широко используется двухуровневая структура микрокоманд для интерпретации команды. Например, в процессоре фирмы Motorola первый уро-

вень микрокоманд использует вертикальное кодирование микрокоманд, выбирающих широкие горизонтальные микрокоманды второго уровня, называемые нанокомандами. Основой для использования данного принципа кодирования является то, что в случае, например, горизонтального кодирования часто для реализации микропрограмм используется небольшая часть комбинаций параллельно выполняемых микроопераций из максимально возможного их числа. Поэтому за счет хранения данных комбинаций в отдельной памяти нанокоманд небольшой емкости и разрядности, требуемой для горизонтального кодирования микрокоманды, можно достигнуть значительного сокращения общей емкости памяти с максимальным параллелизмом при выполнении микроопераций. На рис. 1.41 представлена структур-

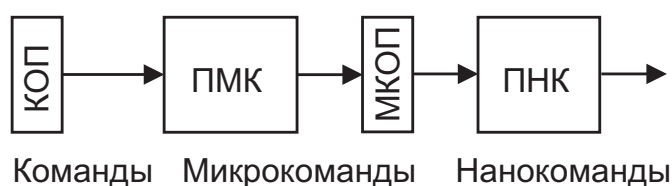


Рис. 1.41. Двухуровневое кодирование микрокоманд

ная схема устройства с двухуровневым кодированием микрокоманд, в котором на первом уровне используется вертикальное кодирование, а на втором – горизонтальное. Из памяти программ выбирается код операции (КОП), при декодировании определяется стартовый адрес микропрограммы в памяти микропрограмм (ПМК). Выполнение микрокоманд осуществляется следующим образом. Первая микрокоманда с вертикальным кодированием извлекается из памяти микрокоманд (ПМК), поле кода микрооперации МКОП является адресом нанокоманды из памяти нанокоманд (ПНК). Выбранная нанокоманда и определяет множество микроопераций, реализуемых в текущем микрокомандном цикле. Например, память для хранения микропрограмм объемом 4К микрокоманд по 32 бита при числе нанокоманд 256 может быть реализована как совокупность памяти микрокоманд емкостью 4К слов по 1 байту и памяти нанокоманд емкостью 256 слов по 32 бита. Это позволяет сократить емкость памяти примерно в 3 раза. Использование ПНК целесообразно в случае многократного повторения в микропрограммах микрокоманд.

### Синхронизация микрокоманд

В основе синхронизации микрокоманды лежит количество тактирующих сигналов, необходимых для ее реализации. С этой точки зрения выделяют одноктактные микрокоманды (рис. 1.42) и многотактные, для реализации которых требуется последовательность тактиру-



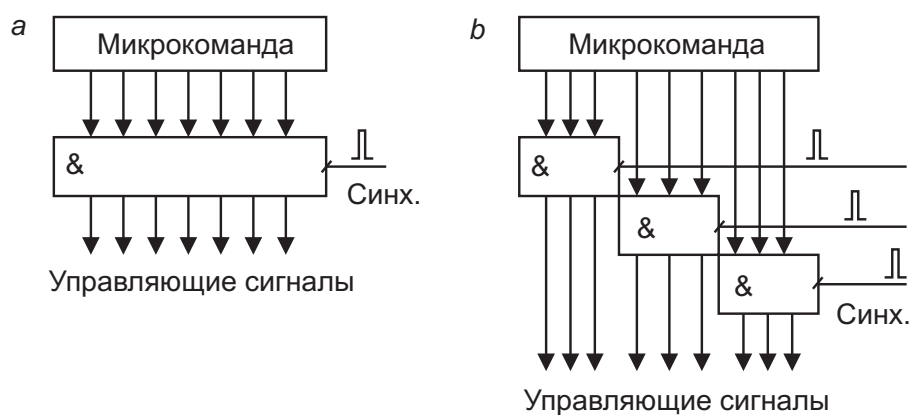


Рис. 1.42. Однотактная (a) и многотактная (b) синхронизация микрокоманд

ющих сигналов. При этом в микрокоманду может быть включен дополнительный разряд, который определяет тип синхронизации. Многотактная синхронизация позволяет минимизировать число микрокоманд в памяти, но требует большего объема оборудования для управления временными интервалами отдельных фаз сложной микрокоманды. Многотактная синхронизация упрощает параллельную выборку и выполнение микрокоманд, а также связи между источниками и приемниками информации при реализации микрокоманд. Достоинством же однотактной синхронизации является простота ее технической реализации.

## 1.5. Общие сведения о микропроцессорах

### 1.5.1. Общая характеристика

Первый процессор как программно функционирующее устройство, способное выполнять арифметические и логические операции, а также осуществлять ветвление алгоритма своего функционирования в зависимости от результата предыдущих вычислений, был создан в 40-е годы прошлого столетия в США специалистами фирмы IBM. Он представлял собой устройство на электромеханических реле, занимал несколько этажей здания, имел крайне низкое быстродействие и надежность и был пригоден лишь для очень узкого класса специфических вычислений. По мере прогресса электронной техники совершенствовалась и элементная база для построения процессоров. Появлялись процессоры на электронных лампах, транзисторах и дискретных логических микросхемах малой степени интеграции. По мере совершенствования процессоры имели все меньшие габаритные размеры, потребляли все меньше энергии, обладали все большей производительностью и надежностью. Однако они все еще были мало пригодны для выполнения операций управления в реальном масштабе време-

ни, а потому использовались в основном только для определенного класса вычислительных задач.

Настоящая революция в технике произошла после появления первого микропроцессора. Первый однокристалльный микропроцессор был разработан фирмой Intel. Руководил группой разработчиков конструктор Federico Faggin. Микропроцессор  $i4004$  (Computer-on-chip) появился в 1971 году, он содержал около 2.3 тысяч транзисторов, был выполнен по технологии 10 мкм, имел производительность 60 тысяч операций в секунду и стоил \$200. По своей производительности микропроцессор был сопоставим с электронно-вычислительной машиной ENIAC, содержащей около 85 тысяч электронных ламп и занимавшей объем 85 м<sup>3</sup>.

Уменьшение стоимости, потребляемой мощности и габаритных размеров, повышение надежности и производительности микропроцессоров способствовали значительному расширению сферы их использования. Наряду с традиционными вычислительными системами они все чаще стали использоваться в задачах управления. При этом перед микропроцессором ставились задачи программного управления различными объектами в реальном масштабе времени.

Основными направлениями эволюции микропроцессоров являются увеличение разрядности одновременно производимых вычислений и уменьшение времени выполнения вычислений. В табл. 1.2 приведена выборочная хронология появления некоторых микропроцессоров фирмы Intel.

Возрастание числа транзисторов в кристалле микропроцессора подчиняется эмпирическому правилу (закону) Мура. В 1965 г. Гордон Мур (Gordon Moore) установил, что в среднем каждые 18 месяцев появляется новая микросхема памяти, которая содержит в 2 раза больше транзисторов. Масштабы этого роста видны из следующего сравнения. В 1978 году авиабилет по маршруту Нью-Йорк – Париж стоил \$900, а перелет длился 7 часов. Если бы авиаиндустрия развивалась в соответствии с законом Мура, то сегодня авиабилет на тот же маршрут стоил бы менее цента, а перелет занял бы менее одной секунды.

### 1.5.2. Организация микропроцессора

**Микропроцессор** – это программно-управляемое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления процессом этой обработки, выполненное в виде одной или нескольких интегральных схем с высокой степенью интеграции электронных элементов.

Функции микропроцессора (МП):

- извлечение кода операции из памяти программ;

Таблица 1.2. Хронология появления некоторых микропроцессоров фирмы Intel

| Наименование микропроцессоров | Год выпуска | Кол-во транзисторов, млн.шт | Разрядность | Тактовая частота, МГц | Технология, нм |
|-------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|----------------|
| i4004                         | 1971        | 0.0023                      | 4           | 0.74                  | 10000          |
| i4040                         | 1972        |                             | 4           | 0.74                  | 10000          |
| i8008                         | 1972        | 0.0035                      | 8           | 0.8                   | 10000          |
| i8080                         | 1974        | 0.0050                      | 8           | 2                     | 6000           |
| i8085                         | 1976        | 0.0065                      | 8           | 6                     | 3000           |
| i8086                         | 1978        | 0.0290                      | 16          | 10                    |                |
| i8088                         | 1979        | 0.0290                      | 8/16        | 8                     |                |
| i80186                        | 1982        |                             | 16          | 20                    |                |
| i80286                        | 1982        | 0.120                       | 16          | 12                    | 1500           |
| i386                          | 1985        | 0.275                       | 32          | 33                    | 1000           |
| i486                          | 1989        | 1.2                         | 32          | 100                   | 600            |
| Pentium                       | 1993        | 3.1                         | 32          | 200                   | 350            |
| Pentium II                    | 1997        | 7.5                         | 32          | 350                   | 250            |
| Pentium III                   | 1999        | 24                          | 32          | 750                   |                |
| Pentium IV                    | 2000        | 42                          | 32          | 2000                  |                |
| Itanium                       | 2001        | 220                         | 64          | 800                   |                |
| Itanium II                    | 2003        | 410                         | 64          | 1500                  | 180            |
| Itanium II*                   | 2006        | 1700                        | 64          | 2000                  | 90             |

\* С ядром Montecito.

- декодирование кода операции;
- выполнение декодированной команды;
- передача данных между устройствами системы;
- реагирование на внешние воздействия;
- установление общей синхронизации и управление системой.

*Разрядность микропроцессора* – количество бит информации, которое микропроцессор может обработать с помощью одной команды.

Разрядность микропроцессора определяется разрядностью его АЛУ, внутренних регистров данных и внешней шины данных. На сегодняшний день существуют 4-, 8-, 16-, 32- и 64-разрядные микропроцессоры. Для того чтобы обрабатывать информацию с разрядностью большей, чем разрядность микропроцессора, необходимо реализовывать специальные алгоритмы вычислений с повышенной разрядностью. Эти алгоритмы требуют дополнительного времени для своего выполнения. Поэтому повышение разрядности микропроцессора при заданной разрядности вычислений напрямую связано с увеличением быстродействия системы.

На рис. 1.43 приведена функциональная схема простейшего микропроцессора. Это минимальный набор узлов, реализующих все функ-

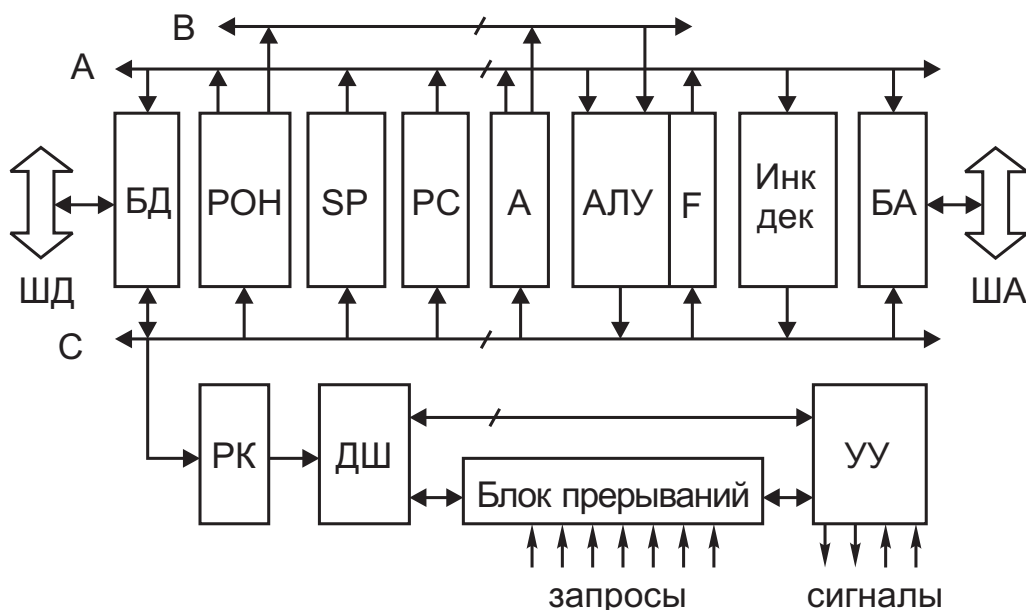


Рис. 1.43. Функциональная схема микропроцессора

ции микропроцессора. Объемными стрелками ША и ШД обозначены внешние шины адреса и данных. Внутренние шины данных обозначены буквами А, В, С. Взаимодействие с внешними шинами осуществляется через буферы адреса (БА) и данных (БД), которые содержат шинные формирователи. Регистровая структура представлена регистрами общего назначения (РОН), указателем стека (Stack Pointer – SP), счетчиком команд (Program Counter – РС), аккумулятором, регистром признаков (F), регистром команд (РК). Обозначения других узлов: АЛУ – арифметико-логическое устройство, Инк/дек – схема для реализации аппаратной операции инкремент/декремент, ДШ – дешифратор команд, Блок прерываний и УУ – устройство управления.

Блок прерываний служит для выполнения функции реагирования на внешние воздействия, его устройство и функционирование будут детально обсуждаться в п.2.3.

### 1.5.3. Классификация микропроцессоров

По числу больших интегральных схем (БИС) в микропроцессорном комплекте различают микропроцессоры однокристалльные, многокристалльные и многокристалльные секционные.

Процессоры имеют сложную функциональную структуру, содержат большое количество электронных элементов и множество разветвленных связей. Для обоснования классификации микропроцессоров по числу БИС надо распределить все аппаратные блоки процессора

между основными тремя функциональными частями: обрабатывающей, управляющей и интерфейсной.

**Однокристалльные микропроцессоры** – функционально законченные микропроцессоры с фиксированной архитектурой, разрядностью и системой команд. Микрокомандный уровень для пользователя недоступен, система команд является неизменяемой, она ориентирована на широкий круг задач. Однако универсальный характер системы команд подразумевает, что для каждой конкретной задачи система команд не является оптимальной. Однокристалльные микропроцессоры имеют, как правило, универсальное назначение, они получаются при реализации всех аппаратных средств процессора в виде одной БИС или сверхбольшой БИС. По мере увеличения степени интеграции элементов в кристалле и числа выводов корпуса параметры однокристалльных микропроцессоров улучшаются. Однако возможности однокристалльных микропроцессоров ограничены аппаратными ресурсами кристалла и корпуса.

**Многокристалльный микропроцессор.** Это сборка микропроцессора из нескольких БИС. Все характеристики – как для однокристалльных МП. Функционально-законченные сам микропроцессор и его модули. Функциональная законченность БИС многокристалльного микропроцессора означает, что его части выполняют заранее определенные функции и могут работать автономно. Для получения многокристалльного микропроцессора необходимо провести разбиение его логической структуры на функционально законченные части и реализовать их в виде БИС. Граница разбиения на кристаллы – шина С. Закрытый микропрограммный уровень, фиксированы система команд и архитектура.

На рис. 1.44,а показано функциональное разбиение структуры процессора при создании многокристалльного микропроцессора (пунктирные линии), содержащего БИС обрабатывающего (ОУ), управляющего (УУ) и интерфейсного (ИУ) устройств.

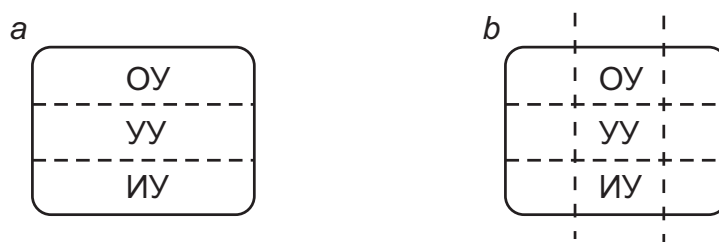


Рис. 1.44. Функциональная структура процессора (а) и ее разбиение для реализации процессора в виде комплекта секционных БИС (б)

Выбираемые из памяти команды распознаются и выполняются каждой частью микропроцессора автономно, и поэтому может быть обеспечен режим одновременной работы всех БИС МП, т.е. конвейерный поточный режим исполнения последовательности команд программы (выполнение последовательности с небольшим временным сдвигом). Такой режим работы значительно повышает производительность микропроцессора.

**Многокристальные секционные микропроцессоры** (микропроцессоры с разрядно-модульной организацией) получают в том случае, когда в виде БИС реализуются части (секции) логической структуры процессора при функциональном разбиении ее вертикальными плоскостями (рис. 1.41,*b*). Это – многокристальный микропроцессор с открытым микропрограммным уровнем. Для построения многоразрядных микропроцессоров при параллельном включении секций БИС в них добавляются средства “стыковки”.

Для создания высокопроизводительных многоразрядных микропроцессоров требуется столь много аппаратных средств, не реализуемых в доступных БИС, что может возникнуть необходимость еще и в функциональном разбиении структуры микропроцессора горизонтальными плоскостями. В результате рассмотренного функционального разделения структуры микропроцессора на функционально и конструктивно законченные части создаются условия реализации каждой из них в виде БИС. Все они образуют комплект секционных БИС микропроцессора.

Таким образом, микропроцессорная секция – это БИС, предназначенная для обработки нескольких разрядов данных или выполнения определенных управляющих операций. Секционность БИС МП определяет возможность “наращивания” разрядности обрабатываемых данных или усложнения устройств управления микропроцессора при “параллельном” включении большего числа БИС.

Области применения секционных микропроцессоров:

- замена аппаратных решений программными: вместо схем комбинационной логики, работающих в реальном масштабе времени;
- эмуляция на микропрограммном уровне других микропроцессоров, имеющих богатое программное обеспечение;
- микропроцессоры без промежуточной трансляции с языков высокого уровня;
- параллельная обработка информации;
- микропроцессоры с повышенной разрядностью.

По назначению различают *универсальные* и *специализированные* микропроцессоры.

**Универсальные микропроцессоры** могут быть применены для решения широкого круга разнообразных задач. При этом их эффективная производительность слабо зависит от проблемной специфики решаемых задач. В системе команд МП заложена алгоритмическая универсальность, означающая, что выполняемый машиной состав команд позволяет получить преобразование информации в соответствии с любым заданным алгоритмом.

К универсальным МП относятся и секционные микропроцессоры, поскольку для них система команд может быть оптимизирована в каждом частном проекте создания секционного микропроцессора.

**Специализированные микропроцессоры** предназначены для решения определенного класса задач, а иногда только для решения одной конкретной задачи. Их существенными особенностями являются простота управления, компактность аппаратных средств, низкая стоимость и малая мощность потребления. Специализированные МП имеют ориентацию на ускоренное выполнение определенных функций, что позволяет резко увеличить эффективную производительность при решении только определенных задач. Специализация МП, т.е. его проблемная ориентация на ускоренное выполнение определенных функций, позволяет резко увеличить эффективную производительность при решении только определенных задач.

Специализированные МП можно разделить на микроконтроллеры, ориентированные на выполнение сложных последовательностей логических операций, математические МП, предназначенные для повышения производительности при выполнении арифметических операций за счет, например, матричных методов их выполнения, МП для обработки данных в различных областях применений и т.д.

С помощью специализированных МП можно эффективно решать новые сложные задачи параллельной обработки данных. Например, интеграл свертки (конволюция) позволяет осуществить более сложную математическую обработку сигналов, чем широко используемые методы корреляции. Последние в основном сводятся к сравнению и определению подобия всего лишь для двух серий данных: входных, передаваемых формой сигнала, и фиксированных опорных. Конволюция дает возможность в реальном масштабе времени находить соответствие для сигналов изменяющейся формы путем сравнения их с различными эталонными сигналами, что, например, позволяет эффективно выделить полезный сигнал на фоне шума.

Разработанные однокристалльные конвольверы используются в устройствах опознавания образов в тех случаях, когда возможности сбора данных превосходят способности системы обрабатывать эти данные.

По виду обрабатываемых входных сигналов различают цифровые и аналоговые микропроцессоры. Сами микропроцессоры – цифровые устройства, однако они могут иметь встроенные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Поэтому входные аналоговые сигналы передаются в МП через преобразователь в цифровой форме, обрабатываются и после обратного преобразования в аналоговую форму поступают на выход. С архитектурной точки зрения такие микропроцессоры представляют собой аналоговые функциональные преобразователи сигналов и называются аналоговыми микропроцессорами. Они выполняют функции любой аналоговой схемы (например, производят генерацию колебаний, модуляцию, смещение, фильтрацию, кодирование и декодирование сигналов в реальном масштабе времени и т.д., заменяя сложные схемы, состоящие из операционных усилителей, катушек индуктивности, конденсаторов и т.д.). При этом применение аналогового микропроцессора значительно повышает точность обработки аналоговых сигналов и их воспроизводимость, а также расширяет функциональные возможности за счет программной “настройки” цифровой части микропроцессора на различные алгоритмы обработки сигналов.

Обычно в составе однокристалльных аналоговых МП имеется несколько каналов аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования. В аналоговом микропроцессоре разрядность обрабатываемых данных достигает 24 бит и более, большое значение уделяется увеличению скорости выполнения арифметических операций.

Отличительная черта аналоговых микропроцессоров – способность к переработке большого объема числовых данных, т.е. к выполнению операций сложения и умножения с большой скоростью, при необходимости – даже за счет отказа от операций прерываний и переходов. Аналоговый сигнал, преобразованный в цифровую форму, обрабатывается в реальном масштабе времени и передается на выход обычно в аналоговой форме через цифро-аналоговый преобразователь. При этом согласно теореме Котельникова частота квантования аналогового сигнала должна вдвое превышать верхнюю частоту сигнала.

Сравнение цифровых микропроцессоров производится сопоставлением времени выполнения ими списков операций. Сравнение же аналоговых микропроцессоров производится по количеству эквивалентных звеньев аналого-цифровых фильтров рекурсивных фильтров второго порядка. Производительность аналогового микропроцессора определяется его способностью быстро выполнять операции умножения: чем быстрее осуществляется умножение, тем больше эквивалентное количество звеньев фильтра в аналоговом преобразователе и тем более сложный алгоритм преобразования цифровых сигналов можно задавать в микропроцессоре.



По характеру временной организации работы микропроцессоры делят на *синхронные* и *асинхронные*.

***Синхронные микропроцессоры*** – микропроцессоры, в которых начало и конец выполнения операций задаются устройством управления (время выполнения операций в этом случае не зависит от вида выполняемых команд и величин операндов).

***Асинхронные микропроцессоры*** позволяют начало выполнения каждой следующей операции определить по сигналу фактического окончания выполнения предыдущей операции. Для более эффективного использования каждого устройства микропроцессорной системы в состав асинхронно работающих устройств вводят электронные цепи, обеспечивающие автономное функционирование устройств. Закончив работу над какой-либо операцией, устройство вырабатывает сигнал запроса, означающий его готовность к выполнению следующей операции. При этом роль естественного распределителя работ принимает на себя память, которая в соответствии с заранее установленным приоритетом выполняет запросы остальных устройств по обеспечению их командной информацией и данными.

По организации структуры микропроцессорных систем различают *одно-* и *многомагистральные* МП.

***В одномагистральных МП*** все устройства имеют одинаковый интерфейс и подключены к единой информационной магистрали, по которой передаются коды данных, адресов и управляющих сигналов.

***В многомагистральных МП*** устройства группами подключаются к своей информационной магистрали. Это позволяет осуществить одновременную передачу информационных сигналов по нескольким (или всем) магистралям. Такая организация систем усложняет их конструкцию, однако увеличивает производительность.

По количеству выполняемых программ различают *одно-* и *мультипрограммные* микропроцессоры.

***В однопрограммных микропроцессорах*** выполняется только одна программа. Переход к выполнению другой программы происходит после завершения текущей программы.

***В мультипрограммных микропроцессорах*** одновременно выполняется несколько (обычно несколько десятков) программ. Организация

мультипрограммной работы микропроцессорных управляющих систем позволяет осуществить контроль за состоянием и управлением большим числом источников или приемников информации.

## 1.6. Программное обеспечение микропроцессоров

### 1.6.1. Языки и уровни программирования

Цифровые устройства функционируют под воздействием внутренних и внешних управляющих сигналов. Все возможные алгоритмы работы определяются совокупностью аппаратных связей. Изменение алгоритма работы аппаратной схемы требует ее модификации на аппаратном уровне.

В программно-управляемых устройствах взаимодействие с аппаратным ядром опосредовано программными надстройками различного уровня (рис. 1.45). Микропрограммный уровень является наиболее

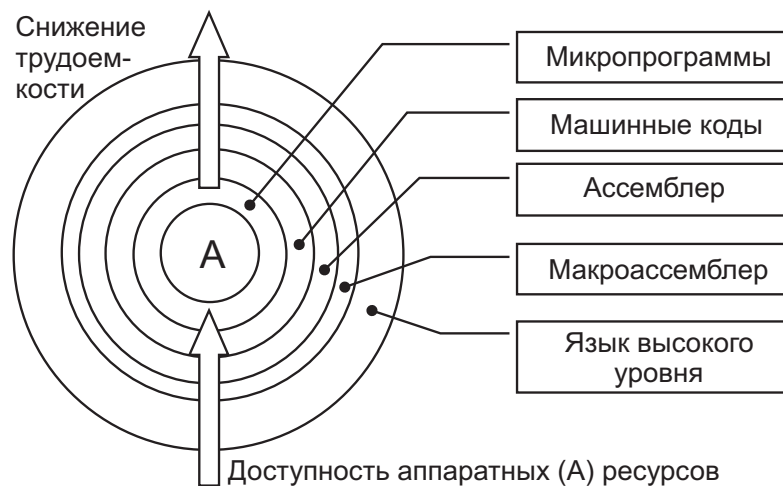


Рис. 1.45. Языки и уровни программирования

близким к аппаратному ядру. Каждый разряд поля кода микрокоманды однозначно определяет управляющий сигнал для выполнения соответствующей микрооперации. В большинстве микропроцессоров микрокомандный уровень не доступен для пользователя.

Далее идет уровень машинных команд (машинных кодов). Именно этот уровень является в большинстве случаев самым низким уровнем, доступным для пользователя. Каждая машинная команда поддерживается соответствующей микропрограммой. Система команд микропроцессора определяет совокупность функций аппаратного ядра, доступных с уровня машинных команд.

С точки зрения пользователя машинные команды – это просто двоичные коды. Разрядность машинных команд обычно существенно ниже разрядности микрокоманд, но трудоемкость программирования

в машинных кодах остается чрезвычайно высокой. В некоторых случаях для снижения трудоемкости составления программы в машинных кодах применяют системы счисления с основанием 8 или 16. Перевод написанной программы в двоичные коды осуществляется в дальнейшем аппаратными средствами.

Дальнейшее снижение трудоемкости написания программ достигается на уровне языка ассемблера. В этом случае каждой машинной команде сопоставляют команду на языке ассемблера. Эти команды представляют собой буквенные сочетания, составленные обычно из аббревиатур английских глаголов, соответствующих функции команды. Например, типичная команда ассемблера MOV получена от английского глагола “to move” – перемещать. Трансляцию программы, написанной на языке ассемблера, в машинные коды осуществляют при помощи специальной программы под названием ассемблер. Иногда такой процесс называют ассемблированием программы.

Язык ассемблера – это входной язык программы ассемблера. Система команд языка ассемблера полностью идентична системе машинных команд. Для микропроцессоров с различной системой машинных команд языки ассемблера будут также различаться, поэтому язык ассемблера считается машинно-зависимым языком программирования.

На уровне макроассемблера составление программы осуществляется в терминах макрокоманд (макросов), реализующих укрупненные действия – макрооперации. В подготовленной программе макроассемблер сначала заменяет макрокоманды на заранее подготовленные фрагменты текста на языке ассемблера, а потом производит ассемблирование программы.

Наиболее удаленный от аппаратного ядра уровень программирования представлен языками высокого уровня. Некоторые из них считаются машинно-независимыми языками. Однако многие языки высокого уровня (например, язык С) предоставляют пользователю возможность делать в программе вставки фрагментов на языке ассемблера.

Отметим две противоположные тенденции, показанные на рис. 1.45 объемными стрелками: снижение трудоемкости программирования при удалении от аппаратного ядра и увеличение доступности аппаратных ресурсов при переходе к более низким уровням программирования. Выбор уровня программирования для конкретной задачи определяется балансом между этими противоположными тенденциями.

### 1.6.2. Подготовка программного обеспечения

Входным языком микропроцессора в большинстве случаев является уровень машинных команд. Любую программу, созданную на другом, более высоком уровне, перед выполнением необходимо транс-

лизовать на уровень машинных команд. Это подразумевает использование служебных программ и определенной технологии подготовки программного обеспечения.

На рис. 1.46 показана подготовка программы на языке ассемблера и этапы ее трансляции до уровня машинных команд.

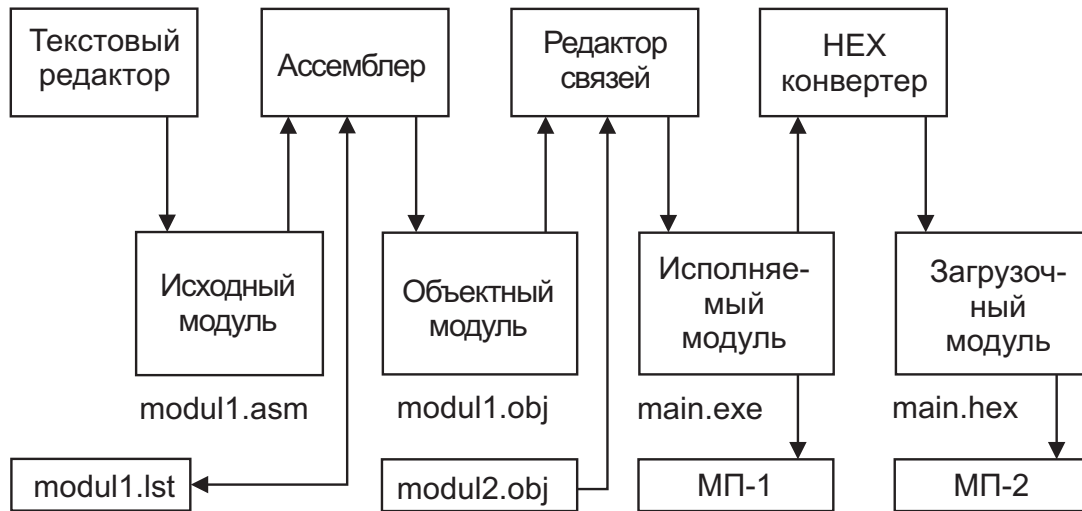


Рис. 1.46. Этапы подготовки программного обеспечения

**Текстовый редактор.** Исходный текст программы на языке ассемблера готовится в любом текстовом редакторе, работающем в ASCII кодах. Подготовленный текст программы сохраняется в виде файла на машинном носителе. Такой файл называется исходным модулем. Исходный модуль можно при необходимости редактировать текстовым редактором.

**Ассемблер.** Программа ассемблер позволяет использовать метки, символическую адресацию, форматные преобразования, распределение памяти, генерацию данных и выполнение арифметических и логических операций с константами на этапе ассемблирования. Большинство ассемблеров являются двухпроходными, т.к. для получения правильного объектного кода они осуществляют два просмотра исходного модуля. Во время первого прохода ассемблер создает таблицу символов и собирает все имена, определяемые в программе. Таблица записывается в файл modul1.lst (см. рис. 1.46). Во время второго прохода он транслирует программу, используя информацию, собранную при первом проходе. В общем случае символические имена могут быть определены в любом месте программы, поскольку ассемблер просматривает всю программу.

Обычно ассемблер выдает на выходе все или некоторые из перечисленных документов:

- объектный файл `modul1.obj`;
- листинг программы вместе с машинными кодами;
- список ошибок ассемблирования;
- таблицу символических имен, используемых в программе, с указанием их значений;
- таблицу перекрестных ссылок, содержащую перечень имен, и перечень всех команд, в которых они используются;
- список внешних ссылок (перечень имен подпрограмм или переменных, определенных за пределами данного исходного модуля).

Ассемблеры классифицируются как абсолютные и перемещающие в зависимости от того, формируют они информацию, позволяющую загрузить программу в любую область памяти, или нет. Первый адрес, который занимает программа в памяти, называется адрес загрузки. В абсолютном ассемблере адрес загрузки известен во время ассемблирования. Поэтому при построении адресных констант и команд передачи управления ассемблер использует абсолютные адреса памяти. Далее обсуждается процесс подготовки программного обеспечения с использованием абсолютного ассемблера.

Результатом работы программы ассемблера является объектный модуль, записанный в файл `modul1.obj` (см. рис. 1.46). Термин *объектный модуль* подчеркивает тот факт, что программа может состоять из нескольких частей (объектных модулей), допускающих автономную трансляцию. На рис. 1.46 показаны два объектных модуля: `modul1.obj` и `modul2.obj`. В объектных модулях могут содержаться внешние ссылки к именам, определенным в других модулях. Все внешние обращения оформляются таблицей в самом объектном модуле.

**Редактор связей.** Функция редактора связей (Linker) заключается в компоновке одного загрузочного модуля из нескольких объектных модулей. В этой связи редактор связей часто называют *компоновщиком*. Необходимость выполнения компоновки объясняется внешними ссылками, которые не могли быть обработаны при ассемблировании отдельных модулей. Редактор связей обрабатывает все объектные модули программы и строит собственные таблицы внешних и входных имен. При этом могут быть обнаружены ошибки, связанные с неопределенными и многократно определенными внешними именами. Все адреса, зависящие от значений внешних имен, соответствующим образом корректируются.

Редактор связей формирует на выходе исполняемый модуль, который может быть размещен в памяти микропроцессорной системы МП-1 (см. рис. 1.46) и запущен на выполнение.

**HEX-конвертер.** Во многих случаях разработка программы и ее выполнение происходят в разных микропроцессорных системах. Для транспортировки программы по различным каналам связи в другую микропроцессорную систему (например, МП-2, рис. 1.46) формируют загрузочный модуль в общепринятом гексадецимальном (hex) формате. Этот формат получают при помощи HEX-конвертера.

Рассмотрим формат hex-файла, разработанный фирмой Intel. Это строчно-ориентированный формат, в котором используются только печатные символы ASCII. Исключение составляют лишь символы возврата каретки и перевода строки. Каждая строка в файле имеет вид

```
:NNAAAAARRNNNSSTT
```

Символы на этой схеме обозначают:

- : – символ двоеточия помечает начало записи в строке;
- NN** – число в шестнадцатеричном формате, соответствующее количеству байтов в записи (строке). Длина строки не может превышать 255 байтов;
- AAAA** – четыре шестнадцатеричных цифры, соответствующие адресу местоположения первого байта в памяти программ;
- RR** – тип записи (равно 00 для данных, 01 – конец файла, 03 – адрес загрузки);
- H** – все поля, помеченные этим знаком, состоят из шестнадцатеричных цифр (0–9, ABCDEF), соответствующих байтам данных;
- СС** – контрольная сумма в шестнадцатеричном формате;
- ТТ** – признак конца строки (возврат каретки, перевод строки).

Последней строкой файла будет запись, согласующаяся с приведенным выше форматом, в которой значение счетчика команд будет нулевым :00000001FF. Контрольная сумма определяется следующим образом:

$$\text{сумма} = \text{NN} + (\text{ст. байт адреса}) + \text{мл. байт адреса} + \text{RR} + (\text{сумма всех байтов данных});$$

$$\text{контрольная сумма} = ((-\text{сумма}) \& 0FFH).$$

Здесь (–сумма) имеет смысл отрицательного числа в дополнительном коде. Операция логического умножения усекает контрольную сумму до одного байта. В качестве примера проанализируем следующую запись:

```
:04004800929501305C
```

Здесь число байтов данных  $NN=04H$ , начальный адрес записи в памяти программ  $AAAA=0048H$ , тип записи  $RR=00H$  (данные). Далее идут четыре байта кода программы (байты данных записи):  $92H$ ,  $95H$ ,  $01H$ ,  $30H$ . Последний байт записи  $5CH$  представляет собой контрольную сумму. Проверим это. По определению

$$\text{сумма} = 04H + 00H + 48H + 00H + 92H + 95H + 01H + 30H = 01A4H.$$

В дополнительном коде ( $-$ сумма)  $= (\overline{01A4H} + 1) = 0FE5CH$ . Контрольная сумма будет  $0FE5CH \& 0FFH = 5CH$ .

Полученный файл `main.hex` передают по каналам связи в другую микропроцессорную систему МП-2. В этой системе специальная программа *резидентный загрузчик* преобразует загрузочный модуль в исполняемый модуль и размещает его в памяти в соответствии с заданным загрузочным адресом.

### 1.6.3. Виды программного обеспечения

Выделяют *резидентное* и *внешнее* программное обеспечение для микропроцессоров.

***В резидентное программное обеспечение*** входят программы, размещенные в ресурсах той микропроцессорной системы, в которой они выполняются. Под термином *ресурс* здесь подразумевают любые виды запоминающих устройств, входящих в состав системы. Управляющие микропроцессорные системы обычно имеют весьма скромные ресурсы и соответственно небогатое резидентное программное обеспечение:

- программа МОНИТОР служит для взаимодействия микропроцессорного устройства с внешней средой. Эта программа позволяет выполнять простейшие действия по загрузке программного обеспечения, запуску программ на выполнение, проверке, тестированию и отладке системы;
- прикладные программы пользователя обеспечивают функционирование микропроцессорного устройства в соответствии с заданным алгоритмом;
- программы, поддерживающие процесс разработки на базовом языке программирования.

Специализированные микропроцессорные устройства могут иметь ресурсы, достаточные для хранения лишь прикладных программ. Другие виды резидентного программного обеспечения в них могут отсутствовать.

***Внешнее программное обеспечение*** размещается вне ресурсов данной микропроцессорной системы, как правило, на дополнительных

носителях или в ресурсах другой, более мощной системы. Типичный состав внешнего программного обеспечения:

- операционная система, которая может рассматриваться как дальнейшее развитие программы Монитор;
- поддержка программных средств разработки на языках высокого уровня;
- поддержка средств разработки на базовом языке;
- прикладные программы пользователя.

Для разработки программного обеспечения используют *системы развития*. Полный комплект программного обеспечения в таких системах является резидентным. Другое название этих систем – *инструментальные системы*. Системы развития функционируют на базе мощных микропроцессорных устройств, включают в себя все имеющееся программное обеспечение и некоторые программно-аппаратные средства для отладки.

Программное обеспечение развития может включать в себя текстовый редактор, трансляторы (компиляторы) с языков высокого уровня, ассемблер, редактор связей, программный симулятор, отладчик, профилировщик, трассировщик и др. Более подробно это обсуждается в гл. 8.

Если программное обеспечение развития функционирует в микропроцессорной системе, отличающейся по платформе от той системы, для которой разрабатываются прикладные программы, то к характеристике системы развития добавляют приставку *кросс*: кросс-системы, кросс-ассемблер, кросс-программное обеспечение и т.д.

### 1.6.4. Представление данных в микропроцессоре

**Система счисления** – это код, в котором использованы специальные символы для обозначения количества каких-либо объектов. Количество символов в системе счисления называется основанием системы счисления ( $P$ ). Разряды целой части нумеруются в порядке возрастания справа налево начиная с нуля. Весовой коэффициент разряда в общем случае определяется как  $P^n$ , где  $n$  – порядковый номер разряда.

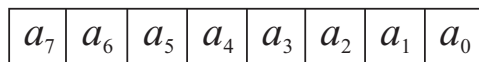
**Двоичные целые без знака.** Числа представляются в прямом двоичном коде. Ниже приведены примеры одно- и многобайтных чисел, а также указаны диапазоны их изменения. Значение числа  $D$  определяется как сумма значений всех разрядов, умноженных на соответствующие весовые коэффициенты.

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \cdot 2^i. \quad (1.3)$$

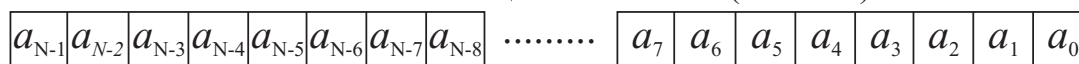


Многобайтные числа обычно размещают в памяти подряд по возрастанию адресов: “младший байт – по младшему адресу, старший байт – по старшему адресу”.

Однобайтные целые без знака (0.....255)



Многобайтные целые без знака (0..... $2^N-1$ )

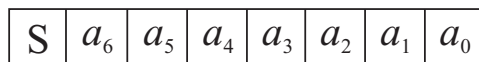


Старший байт

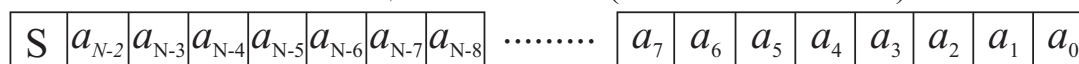
Младший байт

**Двоичные целые со знаком в прямом коде.** Старший бит (S) содержит информацию о знаке числа: 0 – положительное и 1 – отрицательное число. Остальные  $N - 1$  битов служат для размещения модуля числа в прямом двоичном коде. Отметим, что нуль может быть представлен двумя способами:  $-0$  и  $+0$ .

Однобайтные целые со знаком (-127.....0.....+127)



Многобайтные целые без знака ( $-2^{N-1}-1$ .....0..... $+2^{N-1}-1$ )



Старший байт

Младший байт

**Двоичные целые со знаком в дополнительном коде.** Дополнительный код имеет фиксированную разрядность. Старший разряд содержит информацию о знаке числа: 0 – положительное и 1 – отрицательное число. Для положительных чисел остальные биты дополнительного кода совпадают с прямым двоичным кодом этих чисел. Для отрицательных чисел остальные биты дополнительного кода получают путем прибавления единицы к модулю числа, представленного в обратном двоичном коде.

Информация о знаке в старшем разряде при этом получается автоматически. Все переносы из старшего разряда игнорируют. Применение дополнительного кода в цифровых устройствах позволяет заменить операцию вычитания суммированием чисел, представленных в дополнительном коде.

Диапазоны чисел составляют  $-128 \dots 0 \dots +127$  для однобайтных чисел и  $-2^{N-1} \dots 0 \dots +(2^{N-1}-1)$  для многобайтных  $N$ -битных чисел.

**Числа в двоично-десятичном коде.** Для представления десятичных чисел в двоичном коде используют двоично-десятичный код (ДДК). Каждую десятичную цифру 0...9 кодируют четырьмя битами (тетрадой) прямого двоичного кода. При байтовой организации системы различают два вида такой кодировки: распакованный ДДК и упакованный ДДК. Поскольку в тетраде шесть оставшихся старших состо-



ний (A, B, C, D, E, F) не используются, то при выполнении арифметических операций необходима коррекция результата. Алгоритм двоично-десятичной коррекции зависит от вида арифметической операции.

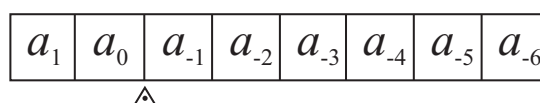
Многобайтные числа в ДДК размещают в памяти по возрастанию адресов: “по младшим адресам – младшие байты, а по старшим адресам – старшие байты”. Числа со знаком в двоично-десятичном коде представляют следующим образом: знак числа размещают в старшей тетраде, а остальные тетрады содержат модуль числа в ДДК.

**Дробные числа с фиксированной точкой.** Точка разделяет целую и дробную части. Для целых чисел точка не указывается, но подразумевается. Разряды дробной части нумеруются слева направо от двоичной точки. К номеру добавляется знак минус. Первый разряд дробной части будет  $-1$ , потом  $-2$  и т.д. При такой нумерации сохраняется единое определение весового коэффициента разряда:  $P^n$ . В примере указано подразумеваемое положение двоичной точки, разделяющей два разряда целой части и шесть разрядов дробной части числа  $D$ .

$$D = \sum_{i=-6}^1 a_i \cdot 2^i. \tag{1.4}$$

Диапазон чисел при этом составляет от 0 до 3 (целая часть) и от 0 до  $(1-2^{-6})$  – дробная часть. В общем случае максимальное значение модуля дробной части всегда остается меньшим единицы на величину веса самого младшего (правого) разряда дробной части.

Число с фиксированной точкой



Основной вопрос при использовании этого формата – выбор оптимального положения фиксированной двоичной точки. Для каждого

числового диапазона есть свой наиболее оптимальный выбор. При работе с числами, принадлежащими различным диапазонам, неизбежен компромисс при определении местоположения фиксированной точки. Следствием этого может быть потеря точности, для компенсации которой потребуется увеличить разрядность чисел. Это недостаток формата чисел с фиксированной точкой.

**Числа с плавающей точкой.** Во многих микропроцессорных системах в качестве стандарта принят формат чисел с плавающей точкой IEEE-754. Принципиальным различием между типами чисел с плавающей точкой является точность представления, диапазон представления и требуемая для их хранения память. Числа этого формата представляют в нормализованной форме в виде двух компонентов: *мантиссы* ( $M$ ) и *порядка* ( $P$ ). Вместо слова *порядок* часто используют термин *экспонента*. Оба компонента могут быть одно- или многобайтными. Порядок (экспоненту) представляют в виде двоичного целого со знаком в прямом коде, а мантиссу – в виде модуля нормализованного дробного числа в прямом коде с фиксированной точкой:  $1/2 \leq M < 1$ . Одноразрядный знак мантиссы  $S$  кодируют обычным образом: 0 – положительное, 1 – отрицательное число.

$$D = (-1)^S \cdot M \cdot 2^P. \quad (1.5)$$

Ограничение диапазона мантиссы продиктовано требованием однозначности представления любого числа. Действительно, если диапазон мантиссы не ограничен, то, например, единицу можно представить в виде различных наборов мантиссы и порядка ( $M = 2^{-n}$ ,  $P = n$ ): (1, 0), (1/2, 1), (1/4, 2), (1/8, 3) и т.д.

Для однобайтных мантиссы и порядка диапазон изменения модуля представляемых чисел будет от  $2^{-128}$  до  $(1 - 2^{-8}) \cdot 2^{+127}$ . Отметим, что ограничение диапазона мантиссы порождает проблему т.н. *машинного нуля*. В приведенном примере наименьшим по модулю числом (т.е. машинным нулем) будет  $2^{-128}$ .

**Форматы чисел микропроцессорной системы MC2702.** Реализация любого формата представления чисел требует соответствующей программной поддержки, т.е. набора программ, выполняющих математические и иные операции над числами в данном формате. Обычно такой набор оформляют в виде библиотеки подпрограмм. В качестве примера приведем краткое описание форматов чисел из библиотеки подпрограмм промышленной микропроцессорной системы MC2702.

В библиотеке размещено 20 подпрограмм для выполнения четырех арифметических действий со знаком и для вычисления элементарных функций (тригонометрические функции, квадратный корень,

факториал, экспоненциальная функция, показательная функция, логарифмическая функция). Библиотека поддерживает два формата целых чисел и один формат чисел с плавающей точкой.

Двоичные целые числа со знаком в прямом коде: однобайтные ( $-127\dots+127$ ) и двухбайтные ( $-16383\dots+16383$ ). В двухбайтных числах модуль занимает младших 14 битов ( $a_0$ – $a_{13}$ ), бит  $a_{14}$  отведен под флаг переноса (C), а бит  $a_{15}$  содержит информацию о знаке числа (S).

Каждое число с плавающей точкой занимает в памяти три байта: двухбайтная мантисса и однобайтный порядок. Форматы мантиссы и порядка соответствуют структуре двухбайтных и однобайтных целых чисел данной библиотеки. Двоичная точка в мантиссе подразумевается между битами  $a_{13}$  и  $a_{14}$ . На схеме обозначены: S – знак мантиссы,



C – флаг переноса, E – знак порядка. Значение числа  $D$  вычисляют по формуле

$$D = (-1)^S \cdot M \cdot 2^{(-1)^E \cdot P}, \quad (1.6)$$

где  $M$  – модуль мантиссы;  $P$  – модуль порядка. Диапазон изменения чисел с плавающей точкой составляет  $0.5867 \cdot 10^{-38} \dots 0.1704 \cdot 10^{+39}$  по модулю.

В табл. 1.3 приведены примеры представления чисел в формате с плавающей точкой MC2702. Значения байтов приведены в шестнадцатеричной системе счисления. Первый байт – порядок (P), далее идут старший (MH) и младший (ML) байты мантиссы. В памяти байты числа располагаются по возрастанию адресов: ML, MH, P.

### 1.6.5. Адресация данных

Команды, входящие в систему команд микропроцессора, принято называть *операторами*. Данные, над которыми операторы выполняют операцию, называются *операндами*. *Адресация* – это способ определения адреса операнда.

Большинство способов адресации связано с необходимостью вычисления адреса основной памяти, по которому производится фактическое обращение к ней. Этот адрес называют *исполнительным*. В зависимости от того, какие методы адресации реализованы в конкретном процессоре, в нем имеются те или иные адресные регистры.

Таблица 1.3. Примеры представления чисел в формате с плавающей точкой

| Число                   | Машинное представление |          |    |
|-------------------------|------------------------|----------|----|
|                         | Порядок                | Мантисса |    |
|                         | P                      | MH       | ML |
| -1                      | 01                     | A0       | 00 |
| 0                       | FF                     | 20       | 00 |
| 1                       | 01                     | 20       | 00 |
| 2                       | 02                     | 20       | 00 |
| 2.5                     | 02                     | 28       | 00 |
| 2.75                    | 02                     | 2C       | 00 |
| $1.6022 \cdot 10^{-19}$ | BE                     | 2F       | 49 |

Более сложные методы адресации требуют большего времени для вычисления адреса операнда. Наиболее распространенными методами адресации, используемыми в современных моделях микропроцессоров, являются следующие.

**Неявная, или подразумеваемая.** Адрес операнда включен в соответствующую микропрограмму и в коде команды не присутствует. Данный тип адресации часто используется для команд, работающих с аккумулятором.

**Регистровая адресация.** Операнд находится в регистре. Адрес регистра включен в код операции. Поле адреса в команде отсутствует.

**Прямая адресация.** Физический адрес операнда расположен в соответствующем поле адреса.

**Непосредственная адресация.** Непосредственное значение операнда расположено в соответствующем поле адреса.

**Косвенная регистровая адресация.** Физический адрес операнда расположен в регистре косвенного адреса DP (Data Pointer). Адрес регистра включен в код операции. Поле адреса в команде отсутствует. В качестве DP может выступать регистр общего назначения (РОН) или специальный адресный регистр.

**Косвенная автоинкрементная/автодекрементная адресация.** Физический адрес операнда расположен в регистре косвенного адреса DP. Адрес регистра включен в код операции. Поле адреса в команде отсутствует. После (либо до) выполнения операции содержимое DP автоматически инкрементируется/декрементируется, чтобы указывать на следующий элемент таблицы.

**Адресация базовая со смещением.** Базовый адрес операнда расположен в регистре базы BP (Base Pointer). Адрес регистра включен в код операции. Смещение адреса операнда относительно базового адреса расположено в соответствующем поле адреса. В качестве BP может выступать РОН или специальный адресный регистр.

**Индексная адресация.** Базовый адрес операнда расположен в соответствующем поле адреса. Смещение адреса операнда относительно базового адреса расположено в индексном регистре X (Index). В качестве X может выступать РОН или специальный адресный регистр.

**Адресация базовая с индексированием.** Базовый адрес операнда расположен в регистре базы BP, смещение адреса операнда относительно базового адреса расположено в индексном регистре X. Адреса регистров включены в код операции. Поле адреса в команде отсутствует. В качестве X и BP могут выступать РОН или специальные адресные регистры.

**Относительная адресация.** Адресацию, при реализации которой исполнительный адрес вычисляется как сумма фиксированного смещения в команде и текущего значения счетчика команд, называют относительной адресацией. Когда выполняется сложение с содержимым счетчика команд, последний уже указывает адрес очередной команды. Смещение может иметь знак.

**Косвенная относительная адресация.** Этот способ адресации отличается от относительной тем, что вычисленный рассмотренным только что способом адрес является не исполнительным адресом, а косвенным адресом операнда, т.е. адресом, по которому из памяти извлекается исполнительный адрес.

**Относительная адресация с индексированием.** В этом способе адресации базовым адресом является содержимое счетчика команд, а в

команде указываются смещение и номер регистра, который содержит дополнительное смещение (индекс). Исполнительный адрес формируется суммированием содержимого счетчика команд, смещения и индекса.

**Страничная адресация.** При использовании страничного способа адресации адресное пространство разбивается на ряд страниц одинаковой длины. Размер страницы равен  $2^k$  байтов. Это позволяет представлять  $n$ -разрядный исполнительный адрес в виде двух частей: номера страницы (старшие  $n$  разрядов) и адреса байта на странице (младшие  $k$  разрядов). Страничный способ адресации не имеет никакого отношения к физической организации памяти. Этот способ просто используется для указания адреса с помощью небольшого количества разрядов. Команда содержит только адрес байта на странице. Номер страницы формируется одним из следующих путей: а) номеру страницы присваивается нулевое значение – адресация по нулевой странице; б) номер страницы устанавливается равным значению старших разрядов счетчика команд; при этом исполнительный адрес располагается на той странице, где находится выполняемая команда – адресация с использованием текущей страницы; в) номер страницы определяется по содержимому регистра страниц, в который предварительно программным путем загружается требуемый номер страницы – адресация с использованием регистра страниц.

**Сегментная адресация.** Вся память разбита на сегменты определенного объема. Адрес сегмента хранится в сегментном регистре, смещение адреса относительно начала сегмента расположено в соответствующем поле адреса либо в индексном регистре  $X$ . В качестве  $X$  может выступать РОИ или специальный адресный регистр.

Обычно в микропроцессоре одновременно используется несколько способов адресации. Способ адресации указывается либо неявно кодом операции, либо в явной форме в специальном поле адресной части команды.

## 2. ИНТЕРФЕЙС И ОРГАНИЗАЦИЯ ВВОДА-ВЫВОДА

### 2.1. Интерфейс микропроцессорной системы

*Интерфейс* (Interface) – это совокупность линий, шин, сигналов, электронных схем, алгоритмов, протоколов, процедур, обеспечивающих обмен информацией между устройствами системы.

#### 2.1.1. Интерфейс микропроцессорной системы и контроллеры периферийных устройств

Совокупность шин адреса, данных и управления образует системный интерфейс (рис. 2.1). Периферийные устройства (ПУ) подключаются к микропроцессорной системе (МПС) через системный интер-

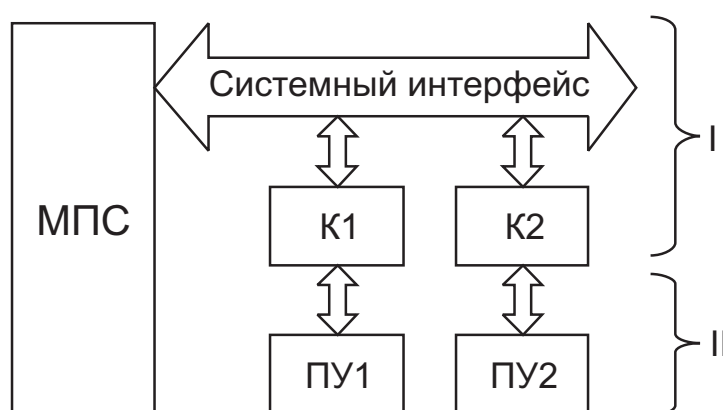


Рис. 2.1. Интерфейс микропроцессорной системы и контроллеры периферийных устройств

фейс. Большое разнообразие различных типов системных интерфейсов, с одной стороны, и периферийных устройств – с другой, создают проблемы при организации микропроцессорной системы.

Для повышения гибкости и модифицируемости системы используют двухуровневую схему подключения периферийных устройств: первый (верхний) уровень образован системным интерфейсом и контроллерами (К) периферийных устройств (рис. 2.1).

Контроллер выполняет две основные функции:

- 1) согласование конкретного периферийного устройства с системным интерфейсом;
- 2) управление работой периферийного устройства.

Простые контроллеры, выполняющие главным образом только первую функцию, иногда называют *адаптерами*.



На втором (нижнем) уровне расположены сами периферийные устройства. Все виды взаимодействия с ними в микропроцессорной системе заменяются взаимодействием с соответствующими контроллерами.

Обращение к контроллерам осуществляется по адресам, как к обычным устройствам ввода-вывода (УВВ). На программном уровне каждый контроллер представлен несколькими портами ввода-вывода. Адреса всех портов образуют адресное пространство устройств ввода-вывода. В случае совмещенных адресных пространств УВВ и основной памяти адресное пространство УВВ входит в состав общего адресного пространства микропроцессорной системы (рис. 2.2). Численные

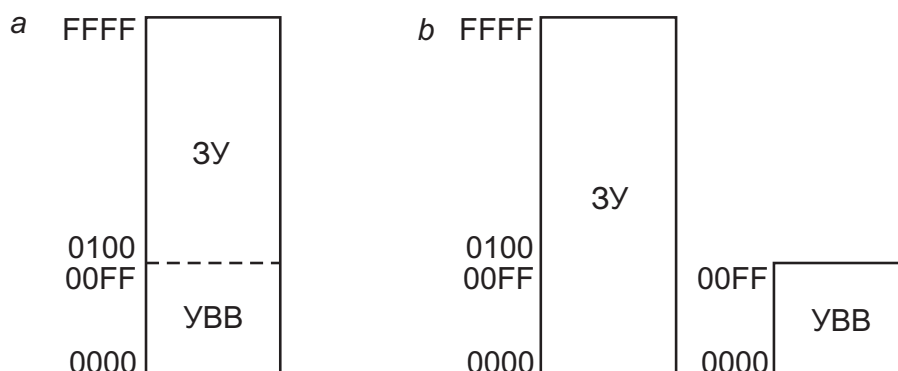


Рис. 2.2. Совмещенные (a) и разделенные (b) адресные пространства УВВ и основной памяти

значения адресов УВВ и основной памяти при этом всегда различны. Обращение к портам ввода-вывода и ячейкам памяти ЗУ осуществляется одними и теми же командами чтения и записи. Для доступа используют один общий набор сигналов шины управления: R (Read) и W (Write).

В случае разделенных адресных пространств УВВ и основной памяти численные значения адресов УВВ и ЗУ могут совпадать (рис. 2.2). Для обращения к портам УВВ используют отдельные команды ввода и вывода. Для доступа к УВВ применяют специальные сигналы INP (Input) и OUP (Output).

Организация контроллера определяется как форматами данных и режимами работы периферийного устройства, так и характеристиками конкретного системного интерфейса. Отметим в качестве примера два стандартных системных интерфейса: Microbus и Multibus (И41).

Интерфейс Microbus предназначен для организации работы 8-разрядных микропроцессорных устройств, он содержит всего 36 линий, включая 16 линий адреса, 8 линий данных и 12 линий управления.

Интерфейс Multibus (И41) предназначен для организации работы 16-разрядных микропроцессорных устройств, он содержит 72 линии, включая 20 линий адреса, 16 линий данных и 36 линий управления.

## Блок сопряжения

Выбор типа системного интерфейса однозначно определяет схемотехнику той части контроллера, которая осуществляет сопряжение с системным интерфейсом. Эта часть контроллера называется блоком сопряжения. На рис. 2.3 показана упрощенная схема блока сопряжения для работы в системе с разделенными адресными пространствами

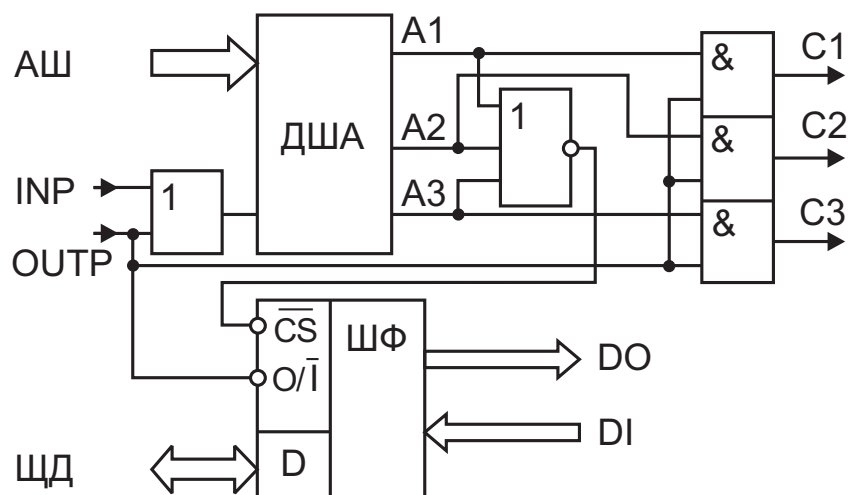


Рис. 2.3. Блок сопряжения с системным интерфейсом

УВВ и ЗУ. Блок сопряжения, приведенный на рис. 2.3 в качестве примера, рассчитан на работу в составе контроллеров, имеющих не более трех портов ввода-вывода. При необходимости блок сопряжения может быть спроектирован на большее количество портов ввода-вывода.

Рассмотрим пример работы блока сопряжения при выводе данных в порт с адресом A2.

1. Микропроцессор выставляет адрес A2 на шине адреса, сигнал OUPTR на шине управления и данные для вывода на шине данных.

2. На вход дешифратора адреса (ДША) поступают адрес с ША и сигнал OUPTR. Логический элемент ИЛИ на входе дешифратора осуществляет функцию разграничения адресных пространств УВВ и ЗУ: в исходном состоянии дешифратор заблокирован и не реагирует на сигналы АШ, даже если численные значения поступающих адресов совпадают с заданными кодами. Сигнал INP или OUPTR снимает блокировку. При совпадении поступившего адреса с настройкой дешифратора происходит возбуждение соответствующей выходной линии. В рассматриваемом примере возбуждается выходная линия A2.

3. Сигнал A2 формирует строб C2 для управления регистром-защелкой порта вывода и сигнал  $\overline{CS}$  для активизации шинного формирователя. Направление передачи данных шинного формирователя задается сигналом OUPTR.

4. Данные с ШД поступают на выход DO шинного формирователя.

Работа блока сопряжения при вводе данных осуществляется сходным образом: данные с входа DI поступают на ШД.

### 2.1.2. Классификация способов обмена данными

Организация контроллера зависит также от способа (вида) обмена данными. На рис. 2.4 показана классификация различных видов обмена данными. Во всех случаях обмен данными происходит словами, передаваемыми один за другим последовательно во времени. При байтовом формате слов говорят, что имеет место “байт-последовательный” обмен данными. Различают виды обмена данными по параллельному и последовательному каналам.



Рис. 2.4. Классификация видов обмена данными

*Параллельный канал.* Все разряды слова передаются одновременно, каждый по своей линии. При байтовой организации говорят о “байт-последовательном, бит-параллельном” обмене данными.

*Последовательный канал.* Разряды слова передаются последовательно во времени, друг за другом по одной линии связи. При байтовой организации говорят о “байт-последовательном, бит-последовательном” обмене данными.

### 2.2. Программно-управляемый обмен данными по параллельному каналу

Виды обмена данными различают по способу управления: программное или аппаратное управление. При программно-управляемом обмене данными каждое слово (байт) данных обязательно проходит через регистры микропроцессора. При этом достигается полный программный контроль потока данных. Однако временные характеристики потока данных могут лимитироваться временными параметрами работы микропроцессора.

Программно-управляемые способы обмена по параллельному каналу классифицируются по способам проверки готовности периферийного устройства к обмену данными.

#### 2.2.1. Синхронный обмен

В случае программно-управляемого синхронного обмена данными по параллельному каналу не производится проверки готовности периферийного устройства к обмену (рис. 2.5). При отсутствии такой проверки приемник и передатчик данных должны иметь одинаковый

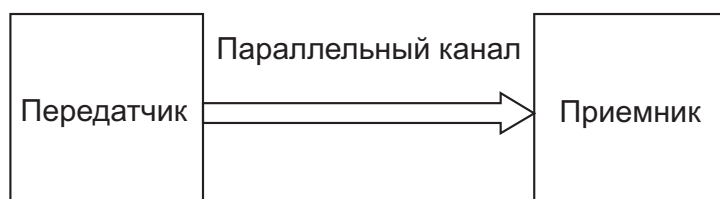


Рис. 2.5. Синхронный обмен по параллельному каналу

внутренний темп обработки данных. Отсюда название – *синхронный обмен* данными по параллельному каналу. Это самый быстрый способ обмена данными, т.к. приемник и передатчик работают в ничем не регулируемом, максимально возможном темпе. В некоторых системах в таком режиме обмена функционируют микропроцессор и основная память. Однако если партнеры имеют разный темп обработки данных, то синхронный способ не может быть применен.

Пример контроллера для синхронного программно-управляемого вывода по параллельному каналу показан на рис. 2.6. Основу кон-

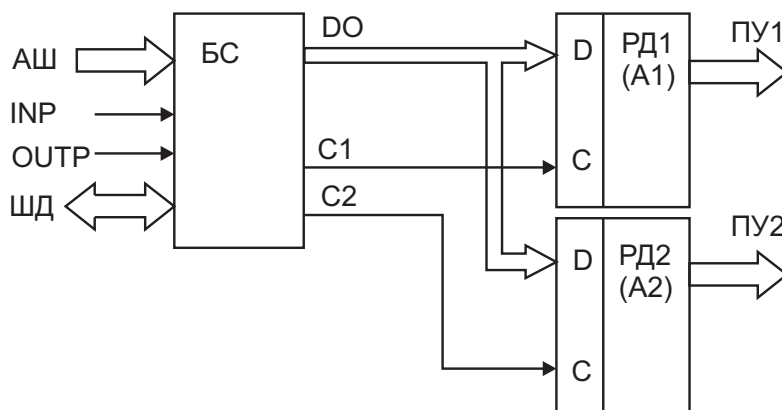


Рис. 2.6. Контроллер синхронного вывода данных по параллельному каналу

троллера составляет блок сопряжения (БС), к которому добавлены два регистра-защелки данных РД1 и РД2. В адресном пространстве УВВ данный контроллер занимает адреса А1 и А2. Стробы С1 и С2 здесь используются для выбора одного из регистров данных.

Алгоритм работы (рис. 2.7, а) контроллера весьма прост. Микропроцессор через блок сопряжения выводит байт данных на линию DO, блок сопряжения формирует строб С1, по которому этот байт записывается в регистр данных РД1. Этот регистр является портом вывода, и периферийное устройство ПУ1 может считывать с него данные. Далее, микропроцессор через блок сопряжения выводит в регистр данных РД1 следующий байт и т.д. Темп выдачи байтов определяется лишь внутренними характеристиками микропроцессорной системы и выполняемой программы. В процессе работы не производится никакой проверки готовности ПУ1 к приему следующего байта.

### 2.2.2. Асинхронный обмен

В случае программно-управляемого асинхронного обмена данными по параллельному каналу производится проверка готовности периферийного устройства к обмену (рис. 2.8). Для этого предусмотрены две дополнительные однобитовые линии, по которым передаются служебные сигналы *квитирования*: “Данные готовы” и “Данные приняты”. Вывод каждого байта в параллельный канал передатчик сопровождает сигналом “Данные готовы”. Приемник по этому сигналу считывает данные и после их обработки выдает ответный сигнал “Данные приняты”. После поступления данного сигнала передатчик выводит следующий байт данных. Партнеры обмена при этом могут иметь различные внутренние темпы обработки данных, но общий

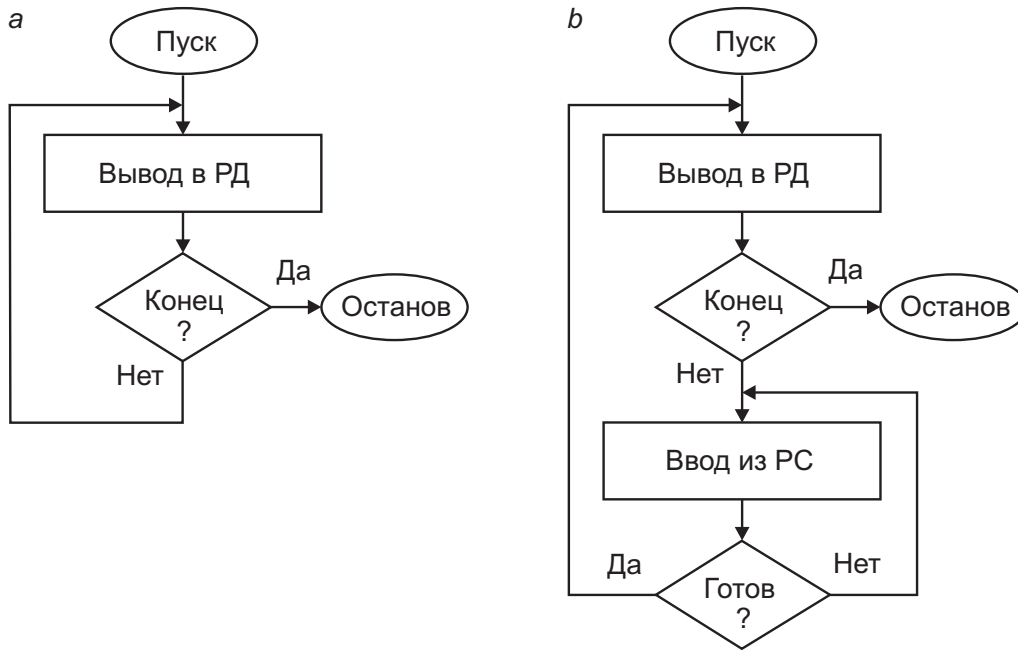


Рис. 2.7. Блок-схема алгоритма вывода данных по параллельному каналу в синхронном (а) и асинхронном (b) режимах

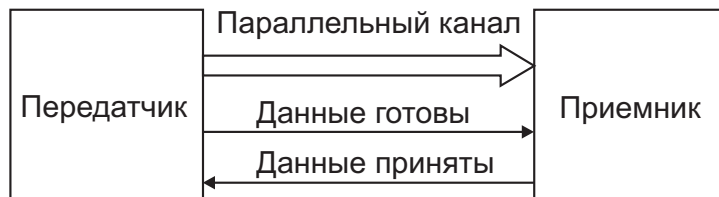


Рис. 2.8. Асинхронный обмен по параллельному каналу

темп обмена данными выравнивается сигналами квитирования по самому медленному партнеру. Отсюда название – асинхронный обмен.

Пример контроллера для асинхронного программно-управляемого вывода данных по параллельному каналу показан на рис. 2.9. Признак занятости периферийного устройства выставляется на флаговом RS-триггере при выводе байта в регистр данных РД1. Выход Q этого триггера используется для формирования сигнала единичного уровня “Данные готовы”. Сброс флагового триггера осуществляется сигналом “Данные приняты” от периферийного устройства. Для программной проверки готовности к обмену в контроллере (см. рис. 2.9) поддерживают специальный регистр признаков состояния (РПС). На программном уровне регистр РПС – обычный порт ввода с адресом А2. При вводе данных из этого порта информация флагового триггера переписывается в регистр РПС. В соответствии с алгоритмом, микропроцессор циклически программными средствами опрашивает регистр РПС, дожидаясь готовности периферийного устройства (рис. 2.7, b). Асинхронный способ обмена иногда называют обменом данными по флагам. Этот способ характеризуется простой програм-

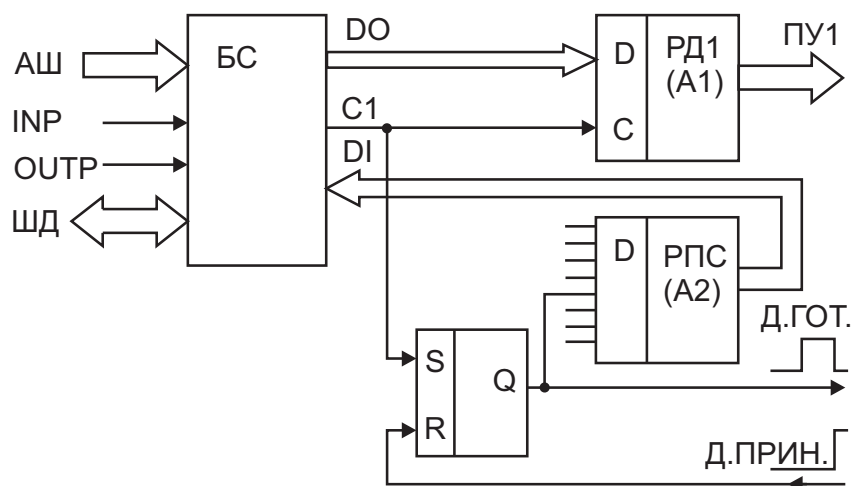


Рис. 2.9. Контроллер асинхронного вывода данных по параллельному каналу

мной и аппаратной реализацией. Основной недостаток проявляется при больших различиях во внутренних темпах работы партнеров и заключается в больших временных издержках на процесс опроса флага занятости.

В схемах, обслуживающих обмен данными по параллельному каналу, как правило, используется базовая структура БИС Intel 8255A (K580BB55A). Эта программируемая БИС представляет собой однокристалльное устройство параллельного ввода-вывода и обеспечивает двунаправленный обмен с квитированием или без него при программном обмене или обмене по прерываниям. Устройство содержит три 8-разрядных порта ввода-вывода, причем один из них может быть разделен на два 4-разрядных канала.

### 2.3. Обмен данными по прерываниям

Программно-управляемый обмен данными по прерываниям характеризуется аппаратной проверкой готовности периферийного устройства. Это позволяет устранить основной недостаток асинхронного способа обмена – непроизводительные потери времени процессора в циклах ожидания. Режим прерываний может быть применен как к параллельному, так и последовательному каналам.

#### 2.3.1. Организация системы прерываний

На рис. 2.10 приведен пример организации системы прерываний. Если периферийное устройство (ПУ) готово к операции ввода-вывода, то оно через контроллер периферийного устройства (КПУ) посылает на вход контроллера прерываний (КПр) сигнал запроса на обслуживание IRQ. По существу, этот сигнал представляет собой инвертирован-

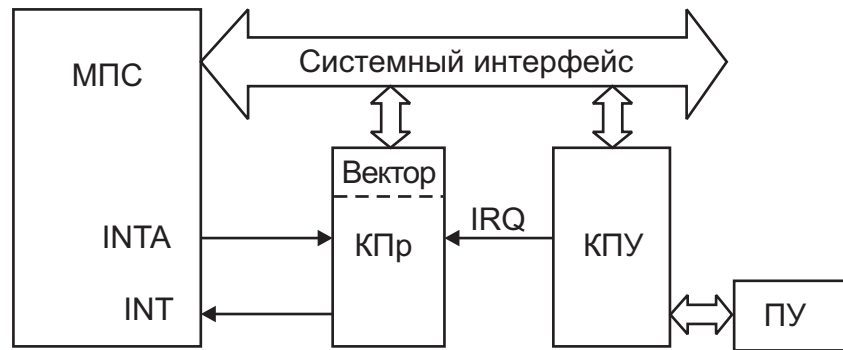


Рис. 2.10. Организация системы прерываний

ный сигнал флагового триггера (рис. 2.11). Контроллер прерываний формирует и передает процессору сигнал запроса прерывания INT.

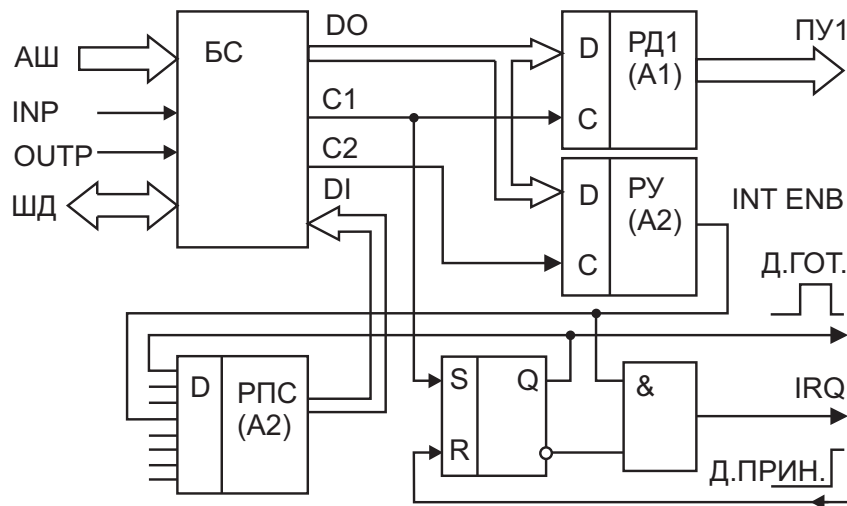


Рис. 2.11. Контроллер для вывода данных по прерываниям

Сигнал INT может появиться в произвольный момент времени, асинхронно по отношению к действиям процессора, поэтому, реагируя на сигнал INT, процессор вначале завершает выполнение текущей команды. Если прерывания процессору разрешены (не замаскированы), то он формирует сигнал INTA подтверждения прерывания. До получения этого сигнала контроллер прерываний сохраняет активный уровень сигнала INT.

Процессор прерывает (временно приостанавливает) текущую программу, запоминает содержимое счетчика команд PC и некоторых других внутренних регистров в стеке, причем содержимое PC обычно запоминается автоматически. Далее процессор идентифицирует прерывающее устройство, переходит к соответствующей подпрограмме обслуживания прерывания и выполняет ее. После этого содержимое регистров извлекается из стека, восстанавливается состояние прерванной программы и возобновляется ее выполнение.

После окончания подпрограммы обслуживания прерывания счет-



чик команд содержит адрес команды, которая выполнялась бы при отсутствии прерывания, поэтому после обслуживания прерывания программа продолжается обычным образом.

Действия микропроцессора при реагировании на сигнал прерывания похожи на действия при вызове подпрограммы. Однако вызов подпрограммы запрограммирован и полностью предсказуем, а переход к обслуживанию прерывания инициируется внешним сигналом, момент появления которого предсказать невозможно. Тем не менее внешняя аналогия реакции на прерывание и вызов подпрограммы позволяет считать прерывание аппаратным вызовом подпрограммы.

Адрес подпрограммы обслуживания прерываний задается вектором прерывания. В различных микропроцессорных системах формат вектора прерываний может быть различным, но в любом случае вектор прерывания содержит всю необходимую информацию для перехода к подпрограмме прерывания.

Вектор прерывания может представлять собой:

- адрес подпрограммы обслуживания прерывания;
- код команды вызова подпрограммы обслуживания прерывания;
- индекс (номер вектора прерывания), который программно или аппаратно сопоставлен с подпрограммой обслуживания прерываний.

Микропроцессор после завершения каждой команды проверяет наличие сигнала прерывания до перехода к следующей команде. Переход к подпрограмме обслуживания прерывания происходит, если только  $INT=1$  и прерывания разрешены.

Процессор реагирует на запросы маскируемых прерываний по линии  $INT$ , если установлен внутренний триггер разрешения прерываний  $INTE$ , называемый также маской (рис. 2.12). Если триггер  $INTE=0$ , прерывания запрещены (замаскированы) и процессор не реагирует на сигнал  $INT=1$ . С помощью команд разрешения  $EI$  и запрещения  $DI$  прерываний можно программно управлять состоянием триггера  $INTE$ . При обработке прерывания устанавливается триггер прерываний  $INTA$ , что приводит к запрещению инкремента счетчика команд и формированию сигнала подтверждения прерывания  $INTA$ . Отметим, что при этом сбрасывается триггер  $INTE$  и в дальнейшем разрешить прерывания можно только командой  $EI$ . После выполнения команды  $EI$  процессор обязательно выполняет еще одну команду, даже если на входе  $INT$  действует сигнал прерывания  $INT=1$ . Для программного управления прерываниями каждого периферийного устройства в их регистрах управления (РУ) предусмотрен специальный бит  $INT ENB$  разрешения прерываний (маска) (см. рис. 2.11). Иногда биты масок всех устройств объединяются в специальной регистр.

Запросы немаскируемых прерываний по входу  $NMI$  процессор вос-

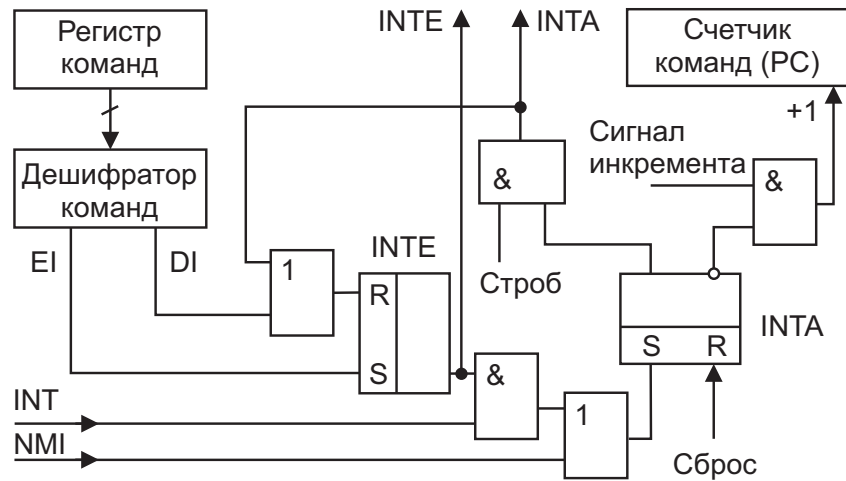


Рис. 2.12. Внутренняя логическая схема прерываний

принимает всегда, независимо от того, разрешены прерывания или нет. Однако до реакции на сигнал NMI процессор завершает выполнение текущей команды. Обычно на вход NMI подается сигнал от схемы, фиксирующей уменьшение напряжения сети до некоторого критического уровня. Быстродействие процессора достаточно велико, чтобы за время от момента восприятия сигнала NMI до уменьшения напряжения питания ниже минимального допустимого выполнить несколько команд. Этими командами содержимое всех внутренних регистров и другая важная информация записываются в энергонезависимую память.

Если число периферийных устройств в системе прерываний больше одного, то сигналы их запросов на обслуживание объединяются по схеме ИЛИ и подаются на вход INT процессора. При поступлении активного сигнала  $INT=1$  без дополнительных действий и аппаратных средств невозможно определить, какое устройство должен обслуживать процессор. Возникает проблема идентификации прерывающего устройства, т.е. однозначного перехода к определенной подпрограмме обслуживания. Кроме того, запросы на обслуживание могут формироваться одновременно несколькими устройствами. При наличии нескольких источников запросов прерывания должен быть установлен определенный порядок (дисциплина) в обслуживании поступающих запросов. Другими словами, между запросами (и соответствующими подпрограммами прерываний) должны быть установлены приоритетные соотношения, определяющие, какой из нескольких поступивших запросов подлежит обработке в первую очередь, и устанавливающие, имеет право или не имеет данный запрос (прерывающая программа) прерывать ту или иную программу. Процедура организации перехода к подпрограмме прерывания включает в себя выделение из выставленных запросов такого, который имеет наибольший приоритет.

Различают *абсолютный* и *относительный* приоритеты. Запрос,

имеющий абсолютный приоритет, прерывает выполняемую программу и инициирует выполнение соответствующей прерывающей программы. Запрос с относительным приоритетом является первым кандидатом на обслуживание после завершения выполнения текущей программы.

Если наиболее приоритетный из выставленных запросов прерывания не превосходит по уровню приоритета выполняемую процессором программу, то запрос прерывания игнорируется или его обслуживание откладывается до завершения выполнения текущей программы.

Существует несколько способов, различающихся скоростью реакции процессора и объемом дополнительных аппаратных средств. При реализации любого способа необходимо назначить устройствам определенные приоритеты и учитывать их таким образом, чтобы процессор, реагируя на сигнал прерывания, выбирал для обслуживания запрашивающее устройство с максимальным приоритетом. Системы прерываний классифицируют по объему перечисленных действий, которые реализуются аппаратно или программно. В зависимости от способа решения этих проблем различают *невекторные* и *векторные* прерывания.

### 2.3.2. Невекторные прерывания

Общая схема организации не векторных прерываний (рис. 2.13) состоит из контроллеров периферийных устройств (КПУ) и одного общего контроллера прерываний (КПр). Запросы на обслуживание IRQ

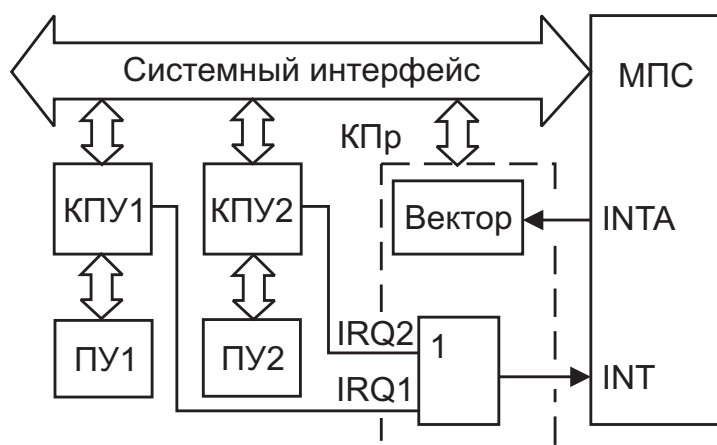


Рис. 2.13. Организация не векторных прерываний

от всех КПУ объединяются по схеме ИЛИ в контроллере прерываний и подаются на вход INT процессора. Внутренняя логика процессора показана на рис. 2.12: при установленном триггере INTE и сигнале INT=1 процессор выполняет типовые действия по подготовке к передаче управления подпрограмме обслуживания прерывания:

- 1) завершение текущей команды;
- 2) запрет автоинкремента счетчика команд РС;
- 3) блокировка доступа к основной памяти;
- 4) выдача сигнала подтверждения прерываний INTA;
- 5) переход в режим выборки кода операции.

Контроллер прерываний (рис. 2.14) содержит регистр вектора прерываний (РВП). В регистр РВП до начала обмена данными записывают значение вектора прерывания, соответствующее выбранной подпрограмме обслуживания этого прерывания. По сигналу INTA вектор прерывания из регистра РВП выставляется на шину данных. Процессор, работающий в режиме выборки кода операции, считывает с ШД вектор прерываний, декодирует его по заданным правилам и начинает выполнять операцию передачи управления подпрограмме, соответствующей вектору прерывания. Переход к подпрограмме также состоит из ряда типовых действий:

- 1) сохранение в стеке точки возврата (содержимое регистра РС);
- 2) загрузка в счетчик команд адреса подпрограммы;
- 3) снятие запрета автоинкремента;
- 4) снятие блокировки основной памяти;
- 5) выборка кода первой команды подпрограммы.

Система неvectorных прерываний подразумевает вызов одной и той же подпрограммы при обслуживании различных периферийных устройств. Проблема идентификации периферийного устройства, запросившего прерывание, решается при этом путем опроса (поллинга) источников прерывания. Поллинг может осуществляться различными способами как программно, так и аппаратно.

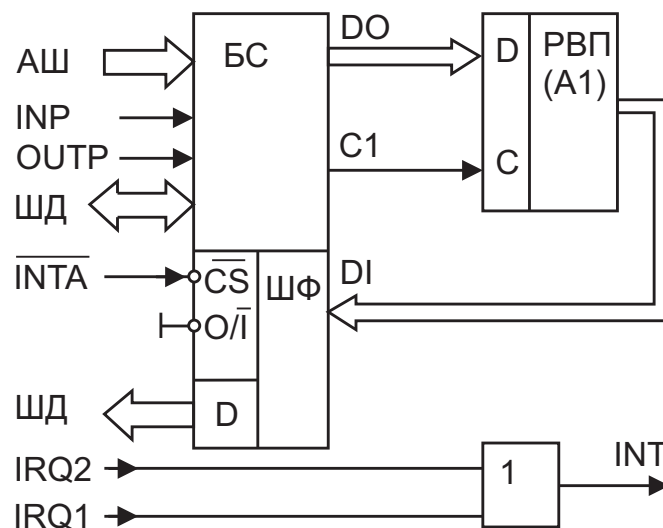


Рис. 2.14. Контроллер неvectorных прерываний

## Программный поллинг

Идентификация путем программного опроса (поллинга) контроллеров периферийных устройств заключается в следующем. Каждый КПУ (см. рис. 2.11) содержит регистр признаков состояний (РПС), который фиксирует состояния флага готовности периферийного устройства и бита разрешения прерываний  $INT\ ENB$ . Реагируя на прерывание, процессор переходит к подпрограмме поллинга (рис. 2.15). Первым проверяется флаг готовности устройства У1 с наибольшим приоритетом. Если это устройство не послало запрос на обслужи-

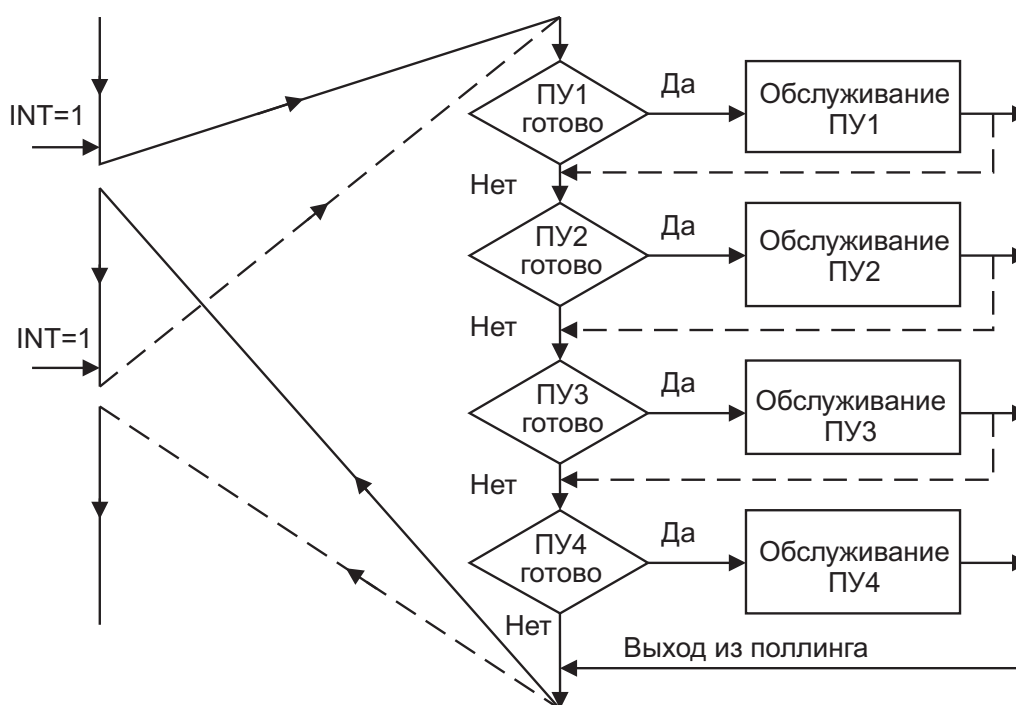


Рис. 2.15. Программный поллинг

вание, то идет опрос следующего устройства и т.д. Когда встречается первое устройство, готовое к операциям ввода-вывода, управление передается блоку подпрограммы обслуживания этого устройства. По завершении обслуживания в поллинге может быть запрограммировано одно из следующих действий:

1) управление возвращается в основную программу без проверки готовности остальных устройств. Здесь гарантируется обязательная проверка в каждом цикле поллинга устройств с высоким приоритетом, так как обслуживание их блокирует обслуживание устройств с меньшими приоритетами;

2) управление возвращается к программе поллинга, т.е. в точку проверки прерывания следующего устройства (на рис. 2.15 показано штриховыми линиями). Этот способ гарантирует проверку в каждом цикле поллинга всех устройств.

Конкретная реализация поллинга зависит от особенностей системы команд процессора и конфигурации аппаратных средств. Например, для ускорения поллинга сигналы прерываний всех устройств подключаются к специальному регистру. Поллинг реализуется посредством ввода в процессор содержимого этого регистра и анализа состояний отдельных бит с помощью команд сдвига или маскирования. Последовательность анализа определяется приоритетами устройств, и при обнаружении первого установленного бита осуществляется переход к соответствующей подпрограмме обслуживания.

Недостаток программного поллинга заключается в необходимости проверки всех устройств, даже тех из них, которые не требуют обслуживания. Каждая проверка представляет собой последовательность команд, которые должен выполнять процессор. При увеличении числа устройств быстро увеличивается и число команд, что приводит к непроизводительным потерям времени процессора и замедлению его реакции на запросы устройств. В результате поллинг вносит значительную задержку между моментом, когда устройство сигнализирует о своей готовности к операциям ввода-вывода, и моментом собственно передачи данных. Основное достоинство программного поллинга заключается в простоте его реализации, почти не требующей дополнительных аппаратных средств.

#### Схема циклического опроса запросов прерываний

Схема циклического опроса запросов прерываний представляет собой разновидность аппаратного поллинга. В этой схеме идентификации биты запросов на прерывание всех устройств объединяются в специальной регистр запросов. Опрос  $k$  линий запросов прерывания (или разрядов регистра запросов прерывания) производится последовательно (циклически) с помощью  $n$ -разрядного счетчика ( $2^n = k$ ), на который с некоторой частотой поступают импульсы от генератора. Поиск приоритетного запроса прерывания начинается со сброса счетчика в нулевое состояние, при этом импульсы генератора начинают поступать на вход счетчика. При помощи дешифратора и элементов “И” в каждом такте поиска проверяется наличие запроса прерывания, номер которого совпадает с кодом счетчика. Если на данном входе нет запроса прерывания, то после инкремента счетчика проверяется следующий по порядку вход. Если имеется запрос, то в процессор посылается сигнал прерывания INT и прекращается поступление импульсов на вход счетчика, т.е. завершается цикл просмотра входов системы прерывания. Содержимое счетчика — код номера старшего по приоритету выставленного запроса — используется для формирования адреса подпрограммы обслуживания прерывания. После передачи управления прерывающей подпрограмме счетчик сбрасывается.

Циклический (последовательный) опрос входов системы прерывания в аппаратном отношении сравнительно прост, однако время реакции и при этом методе все-таки велико, особенно при большом числе источников запросов. Поэтому во многих случаях, например в микропроцессорах, предназначенных для работы в режиме реального времени, применяют схемы, позволяющие определять номер выставленного запроса или уровня прерывания старшего приоритета за один такт.

### Цепочечная однитактная схема приоритетных запросов

Данную схему невекторных прерываний называют также дейзи-цепочкой, она представляет собой однитактную разновидность аппаратного поллинга (рис. 2.16). Процедура определения приоритетного запроса инициируется сигналом АСК, поступающим на цепочку после-

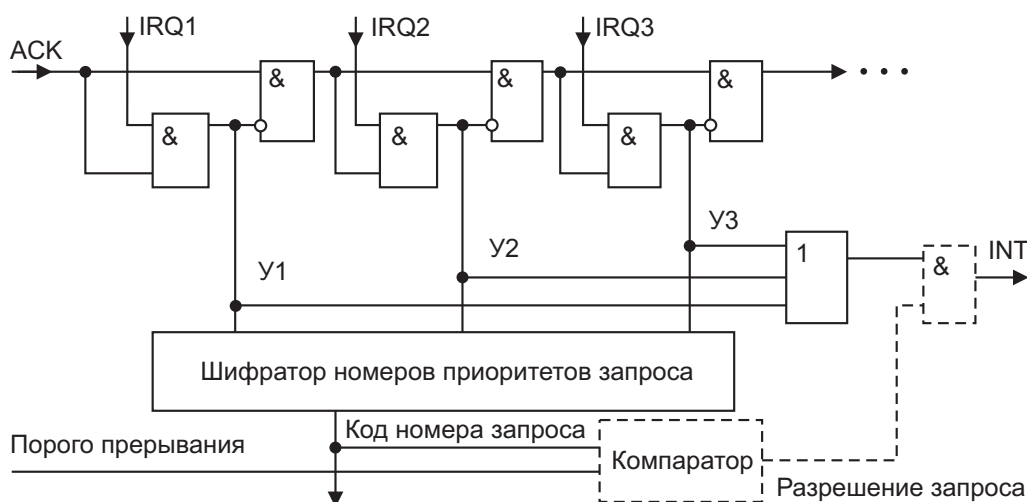


Рис. 2.16. Цепочечная однитактная схема определения приоритетного запроса

довательно включенных логических схем. При отсутствии запросов этот сигнал пройдет через цепочку и сигнал общего запроса прерывания не сформируется. Если среди выставленных запросов прерывания наибольший приоритет имеет  $i$ -й запрос, то распространение сигнала Приоритет правее логической схемы с номером  $i$  блокируется. На  $i-1$  выходе цепочечной схемы будет сигнал  $y_i = 1$ , на всех других – 0. В процессор поступит общий сигнал прерывания, при этом шифратор по сигналу  $y_i = 1$  сформирует код номера  $i$ -го запроса, принятого к обслуживанию. Этот код считывается прерывающей подпрограммой и используется для формирования начального адреса подпрограммы обслуживания прерывания. Порог прерывания позволяет в ходе вычислительного процесса задавать минимальный уровень приоритета запросов, которым разрешается прерывать основную программу.

В системе не векторных прерываний с идентификацией источников прерываний путем поллинга переход при прерывании происходит по одному и тому же адресу и инициирует одну и ту же прерывающую подпрограмму. Прерывающая подпрограмма для идентификации источника прерываний проводит программный поллинг либо считывает результат аппаратного поллинга. После идентификации источника запроса прерывающая подпрограмма формирует адрес начала соответствующей запросу подпрограммы обслуживания и передает ей управление.

### 2.3.3. Векторные прерывания

Принципиальное отличие векторных прерываний состоит в назначении каждому периферийному устройству своего собственного вектора прерывания и, следовательно, отдельной подпрограммы обслуживания этого прерывания. При получении вектора прерываний микропроцессор сразу передает управление подпрограмме обслуживания прерывания. Однако эта подпрограмма уже не содержит поллинга, а сразу выполняет действия по обслуживанию периферийного устройства. Это позволяет значительно ускорить реагирование микропроцессора на запрос прерывания.

Организация ввода-вывода с прерыванием, значительно сокращая непроизводительные потери времени процессора, связана с введением дополнительных аппаратных средств. В частности, это требуется для решения проблем установления приоритета в обслуживании запросов. Существуют различные аппаратные решения проблемы приоритета. В этом отношении различают векторные системы с *интерфейсным* и *внеинтерфейсным* заданием вектора прерываний.

#### Интерфейсное задание векторов прерываний

В этом случае каждый вектор прерывания формируется соответствующим контроллером периферийного устройства, запросившего обслуживание. Интерфейсное задание векторов прерываний не требует значительных аппаратных ресурсов. По такому принципу построена система векторных прерываний типа приоритетной цепочки (другие названия этой системы – аппаратный поллинг, гирляндное или каскадное включение устройств).

В *приоритетной цепочке* процессор и все периферийные устройства соединяются таким образом, что процессор может осуществить автоматический аппаратный опрос (аппаратный поллинг) в целях идентификации прерывающего устройства (рис. 2.17). Когда процессор реагирует на запрос прерывания, он формирует сигнал подтверждения



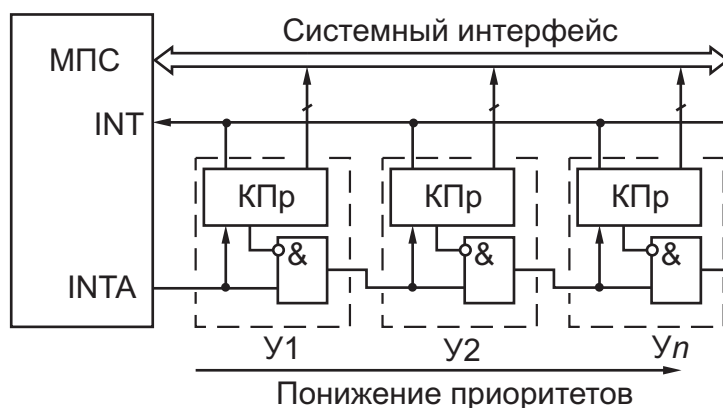


Рис. 2.17. Организация приоритетной цепочки

прерывания INTA на линии, которая последовательно проходит через все устройства. При прохождении сигнала по цепочке проверяется состояние флажков готовности устройств. Если устройство не формирует прерывания, сигнал INTA проходит в следующее устройство, пока не встретится прерывающее (активное) устройство. Оно блокирует дальнейшее распространение сигнала INTA по цепочке. Приоритеты устройств определяются их позиционной близостью к процессору по линии INTA. Активное устройство, получив сигнал INTA, выдает на шину данных свой вектор прерываний. По этому вектору процессор сразу передает управление подпрограмме обслуживания прерывания.

Вектор прерывания в подобных системах встраивается в интерфейсную плату. Приоритет устройства определяется размещением его контроллера в разьеме, занимающем фиксированное положение в схеме. На рис. 2.18 приведена схема контроллера периферийных устройств для вывода данных по векторным прерываниям в системе с приоритетной цепочкой. При поступлении сигнала INTA контроллер, пославший сигнал INT, выдает из регистра РВП на шину данных вектор прерывания.

При наличии нескольких одновременных запросов прерываний приоритетная цепочка обеспечивает быструю идентификацию устройства с наибольшим приоритетом. По линии прерывания к процессору можно подключить значительное количество периферийных устройств. Основной недостаток этого способа связан с задержкой распространения сигнала INTA в цепочке. Однако общее время идентификации прерывающего устройства оказывается намного меньше, чем при программном поллинге. Другой недостаток проявляется, если обслуживание запросили одновременно два или более периферийных устройства: обслуживание менее приоритетных устройств будет отложено на время обслуживания более приоритетных, как и в системе прерывания с программным опросом.

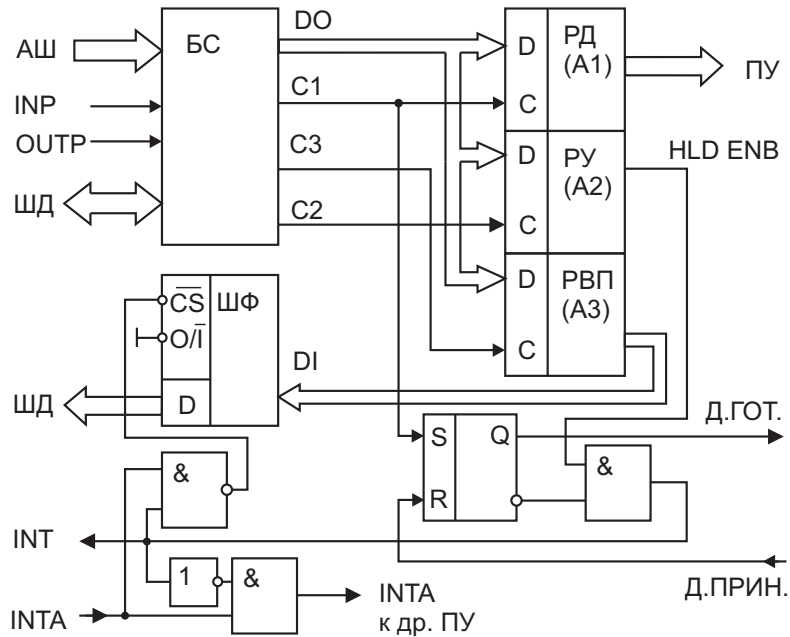


Рис. 2.18. Контроллер вывода данных по векторным прерываниям в системе с приоритетной цепочкой

### Вложенные прерывания

Запрещение прерываний на время обслуживания любого периферийного устройства может привести к потере запросов прерываний быстродействующих, высокоприоритетных устройств, появляющихся при обслуживании устройств с меньшими приоритетами. Для исключения такой ситуации и обеспечения быстрой реакции процессора на прерывание необходимо решить две проблемы: каким-либо образом очень быстро (в пределах с быстродействием комбинационных схем) идентифицировать запрос прерывания устройства с максимальным приоритетом из имеющихся запросов прерываний; фиксировать текущий приоритет (порог) любой выполняемой процессором программы (в том числе и всех подпрограмм обслуживания прерываний) и разрешать ее прерывание только при возникновении запроса прерывания с большим приоритетом.

Прерывание подпрограмм обслуживания прерываний называется *вложением прерываний* (рис. 2.19). До момента  $t_1$  выполняется основная программа, которой назначается наименьший приоритет, чтобы процессор реагировал на любые прерывания. В момент  $t_1$  запрашивает обслуживание устройство  $У4$  и процессор переходит на его подпрограмму обслуживания. В свою очередь эта подпрограмма прерывается в момент  $t_2$  запросом от устройства  $У3$  с более высоким приоритетом. Подпрограмма обслуживания  $У3$  в момент  $t_3$  прерывается запросом устройства  $У2$  с еще более высоким приоритетом, и по завершении обслуживания  $У2$  в момент  $t_4$  управление возвращается к продолжению обслуживания устройства  $У3$ . В интервале  $t_5 - t_6$  аналогичным

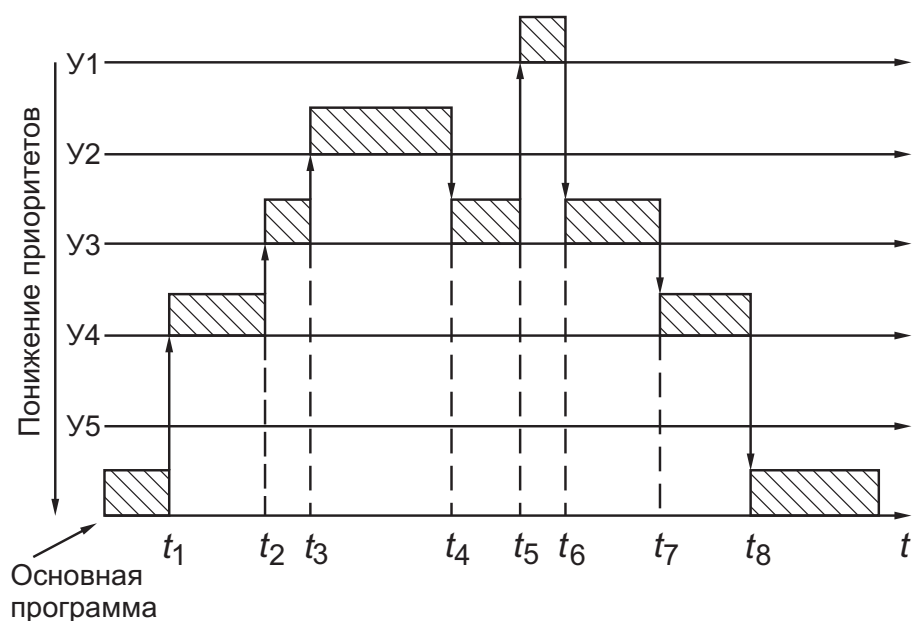


Рис. 2.19. Вложенные прерывания

образом обслуживается запрос устройства  $U_1$  с максимальным приоритетом, после чего управление последовательно возвращается к прерванным подпрограммам обслуживания устройства  $U_3$  и  $U_4$ . Наконец, в момент  $t_8$  возобновляется выполнение основной программы. Разумеется, чтобы процессор реагировал на запросы прерываний, в начале каждой подпрограммы обслуживания их необходимо разрешать командой EI. Эти проблемы обычно решаются с помощью специальных БИС приоритетных прерываний.

### Многоуровневые векторные прерывания

Существует более сложная, но и более гибкая система прерываний. Она рассчитана на обработку не только внешних аппаратных прерываний от периферийных устройств, но и внутренних аппаратных прерываний, инициируемых при выполнении программы в случае возникновения особых ситуаций (переполнение, нереализованная операция и т.п.). Система прерываний называется многоуровневой, если процессор имеет несколько линий (уровней) запросов прерываний и если подпрограммы обслуживания одного уровня могут прерываться запросами на другом уровне. При наличии  $n$  уровней допустимая глубина вложений прерываний равна  $n$ . Многоуровневые системы прерываний удобны для группировки периферийных устройств с похожими характеристиками (и одинаковыми приоритетами) на одном и том же уровне. Каждому периферийному устройству назначается аппаратный приоритетный уровень. Приоритеты служат характеристиками устройств, и программно их изменять нельзя. Разрешение и запрещение

прерываний осуществляется в каждом периферийном устройстве, для чего в их регистрах управления и состояния имеется специальный бит разрешения прерываний (маски) INT ENB (см. рис. 2.11). Любое устройство с разрешенными прерываниями, приоритет которого выше приоритета выполняемой программы, может прервать процессор.

### Внеинтерфейсное задание векторов прерываний

При внеинтерфейсном задании векторов контроллеры внешних устройств не имеют регистров для хранения векторов прерывания, а для идентификации устройств, запросивших обслуживание, используется общий для всех периферийных устройств контроллер многоуровневых векторных прерываний. В конструкции контроллера векторных прерываний предусмотрены несколько регистров векторов прерываний и аппаратная реализация различных схем установления приоритетов.

Общая схема организации векторных прерываний (рис. 2.20) во многом похожа на предыдущую схему не векторных прерываний, показанную на рис. 2.13. В примере (рис. 2.21) двухуровневый контрол-

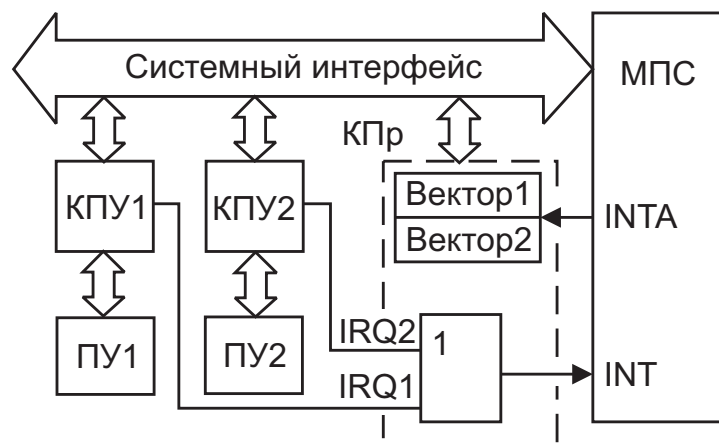


Рис. 2.20. Организация векторных прерываний

лер векторных прерываний содержит два регистра РВП, которые могут быть программно загружены до начала обмена. Сигналы IRQ1 и IRQ2 используются не только для формирования запроса на прерывание INT, но и для выработки адреса (Адр), управляющего мультиплексором векторов прерываний. В зависимости от того, по какой линии пришел запрос на обслуживание, логическая схема выдает на шину DI соответствующий вектор прерываний. Это позволяет аппаратным образом решить проблему идентификации устройства, запросившего прерывание. Каждому запросу на обслуживание соответствует свой вектор прерывания и, следовательно, своя подпрограмма обслуживания прерывания. В этой связи отпадает необходимость в программном

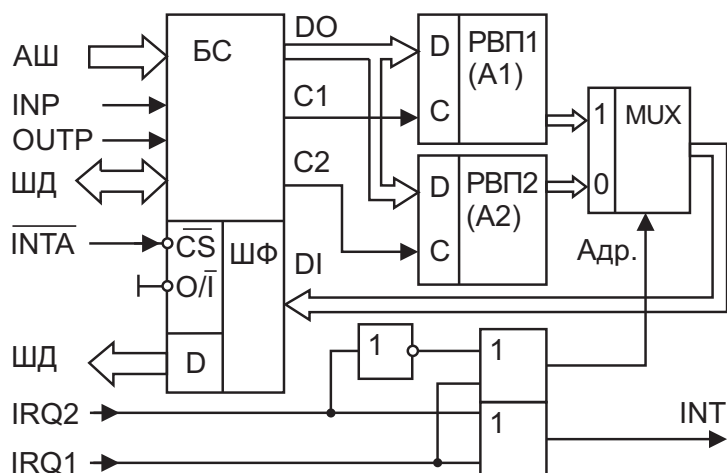


Рис. 2.21. Контроллер векторных прерываний

опросе для идентификации устройства, запросившего прерывание. После выдачи контроллером вектора прерывания сразу происходит переход к подпрограмме обслуживания именно этого периферийного устройства. Приоритет уровней прерываний в этом контроллере задан аппаратно схемой формирования адреса (Адр.). Легко проследить по схеме (рис. 2.21), что уровень IRQ1 имеет высший приоритет.

В системе векторных прерываний с внеинтерфейсным заданием векторов прерываний используются обычно специализированные аппаратные средства. Значительная часть аппаратных средств для организации прерываний сосредоточена в БИС программируемых контроллеров прерываний.

В качестве примера рассмотрим возможности БИС программируемого контроллера прерываний Intel 8259A (К580ВН59). Этот контроллер обеспечивает управление 8-уровневыми векторными приоритетными прерываниями, число которых может быть расширено до 64. Допускается программное маскирование (запрещение) прерываний. Поддержаны следующие режимы работы:

1. *Вложенные прерывания.* Каждому из 8 входов запросов прерываний IRQ7-0 назначается фиксированный приоритет в порядке возрастания, и запрос с большим приоритетом прерывает обслуживание прерываний с меньшими приоритетами.

2. *Круговой (циклический) приоритет.* Каждому входу IRQ7-0 назначается приоритет, но теперь после запроса прерывания и выполнения соответствующей подпрограммы обслуживания приоритеты изменяются в круговом порядке таким образом, что последний обслуженный вход будет иметь низший приоритет. Этот режим характерен для таких применений, в которых периферийные устройства имеют одинаковый приоритет и ни одному из них нельзя отдать предпочтение.

3. *Адресуемые приоритеты.* Режим аналогичен второму режиму,

но допускает программное определение входа IRQ, которому назначается низший приоритет.

4. *Режим опроса.* В этом режиме прерывания процессора запрещаются, а требующее обслуживания периферийное устройство идентифицируется с помощью считывания состояния контроллера.

### 2.4. Прямой доступ к памяти

Обмен данными с аппаратным управлением носит название “прямой доступ к памяти” (ПДП) или *Direct Memory Access (DMA)*. Аппаратное управление обменом данных осуществляет специальный контроллер ПДП. Микропроцессор в обмене не участвует и отключается от системного интерфейса. Данные передаются от одного устройства к другому через системный интерфейс, минуя микропроцессор. Одним из партнеров обмена чаще всего выступает основная память микропроцессорной системы. Отсюда название – ПДП.

Возможны два вида ПДП – с блочными или одиночными передачами. В первом работа процессора останавливается на все время передачи блока данных, во втором передачи слов в режиме ПДП перемежаются с выполнением программы, и для передач ПДП выделяются отдельные такты машинных циклов, в которых процессор не использует системный интерфейс. Одиночные передачи называют ПДП с захватом машинного цикла. Они бывают двух видов: без блокировки и с блокировкой микропроцессора. Каждый командный цикл начинается с машинного цикла выборки команды. В этом машинном цикле есть такт декодирования кода операции, в котором системные шины не используются. На это время системный интерфейс можно отдать для ПДП и передать одно слово. Производительность системы может возрасти из-за параллелизма процессов обмена и обработки данных, благодаря тому, что ПДП будет для процессора “невидимым”. Сам же обмен с ПДП будет небыстрым, темп обмена нерегулярен, может и замедлить выполнение программы, если цикл ПДП не уложится в интервал, соответствующий такту процессора.

При непрерывной передаче блока данных скорость обмена ограничивается лишь длительностью циклов ЗУ, быстродействием самого контроллера и скоростью выдачи/приема данных внешним устройством.

В отличие от процессов прерывания, при ПДП обмен выполняется без участия программы, поэтому содержимое рабочих регистров процессора не изменяется и на вхождение в режим ПДП не требуется затрат времени. ПДП предоставляется по завершении текущего машинного цикла.

Для единиц байтов применяется первый вид ПДП, для больших

блоков байтов – второй. На рис. 2.22 показана схема организации обмена данными по методу ПДП между двумя периферийными уст-

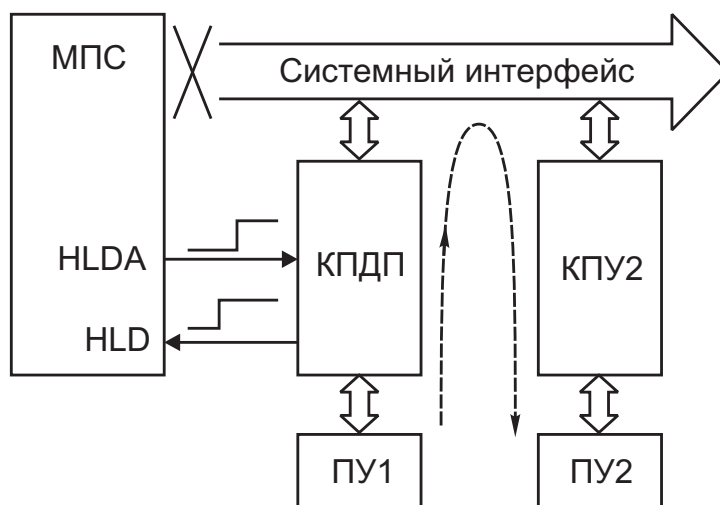


Рис. 2.22. Организация прямого доступа к памяти

ройствами ПУ1 и ПУ2. В качестве ПУ2, подключенного через контроллер КПУ2 к системному интерфейсу, может выступать, например, основная память микропроцессорной системы (МПС). Периферийное устройство ПУ1 оснащено контроллером ПДП (КППД). Последовательность действий при обмене данными методом ПДП:

1) микропроцессор иницирует (программирует) контроллер ПДП, размещая в регистрах КППД следующую информацию: количество байтов передаваемых данных; область памяти (адреса) в ЗУ, которые будут использоваться; начальный адрес блока данных. В регистре управления КППД устанавливается бит HLD ENB, разрешающий контроллеру режим прямого доступа к памяти;

2) в какой-то момент времени периферийное устройство ПУ1 формирует признак (флаг) готовности. По этому признаку контроллер ПДП посылает микропроцессору сигнал HLD, который называется *требование ПДП*. Название сигнала происходит от слова HOLD – захват. Микропроцессор не имеет программных средств, чтобы отклонить требование ПДП. Запретить ПДП можно, только сбросив бит HLD ENB в контроллере ПДП;

3) завершив текущий машинный цикл, микропроцессор отключается от системного интерфейса (шинные формирователи переводятся в третье состояние) и выдает сигнал HLDA – *подтверждение ПДП*;

4) контроллер ПДП захватывает управление системным интерфейсом и осуществляет передачу блока данных в соответствии с заданными условиями. Функциональная организация контроллера ПДП должна предусматривать формирование всей совокупности сигналов управления системным интерфейсом;

5) после окончания передачи блока данных контроллер ПДП снимает сигнал HLD. В ответ на это процессор снимает сигнал HLDA и вновь подключается к системному интерфейсу.

### Контроллер прямого доступа к памяти

На рис. 2.23 приведена упрощенная схема контроллера ПДП, которая, однако, позволяет проследить все основные особенности его организации. Работу начинают с программирования контроллера путем записи параметров обмена в его регистры:

1) в регистр управления РУ (A1) записывают  $HLD\ ENB=0$ . Это соответствует запрету режима ПДП на время программирования контроллера;

2) в автодекрементный регистр счетчик байтов СБ (A2) записывают количество байтов в блоке данных для пересылки;

3) в автоинкрементный регистр адреса РА (A3) записывают адрес первого байта в блоке данных;

4) в регистр управления РУ (A1) записывают  $HLD\ ENB=1$ . Это соответствует разрешению режима ПДП.

На этом программная часть работы с контроллером заканчивается. Микропроцессор может далее выполнять какие-либо другие программы. Контроллер ПДП ожидает прихода данных от периферийного устройства.

Периферийное устройство, подготовив байт данных (D), выдает его во входной регистр данных (РД) контроллера (рис. 2.23). Байт данных сопровождается стробом данных (СД). По этому стробу происходит запись байта данных в регистр данных и установка триггера

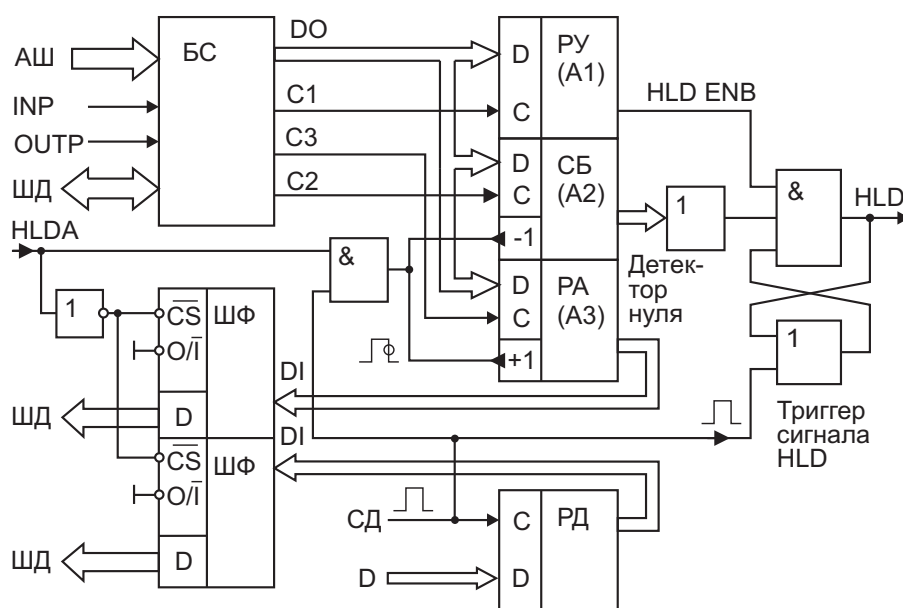


Рис. 2.23. Контроллер прямого доступа к памяти



сигнала  $\overline{HLDA}$ . Сигнал требования ПДП поступает на вход микропроцессора, который завершает текущий машинный цикл и выдает ответный сигнал  $\overline{HLDA}$ .

Сигнал подтверждения ПДП используется для формирования сигналов  $\overline{CS}$  активизации обоих шинных формирователей. Содержимое регистров адреса и данных через линии  $\overline{DI}$  поступает на шины адреса и данных соответственно. Формирование сигналов записи в память на схеме не показано.

По спаду stroba данных (СД) происходит декремент счетчика байтов (СБ) и инкремент адресного регистра (РА). При ненулевом содержимом счетчика байтов триггер сигнала  $\overline{HLDA}$  остается в установленном состоянии, требование ПДП продолжает действовать и сигнал  $\overline{HLDA}=1$ . Контроллер ожидает прихода нового байта данных от периферийного устройства.

Если содержимое счетчика байтов стало нулевым, то на выходе детектора нуля (см. рис. 2.23) появится логический нуль, который сбросит триггер сигнала  $\overline{HLDA}=0$ . Процессор снимет сигнал  $\overline{HLDA}$  и подключится к системному интерфейсу.

Для реализации режимов ПДП разработаны и серийно выпускаются БИС контроллеров ПДП, которые благодаря программированию могут обслуживать ПДП с учетом конкретных требований различных систем. Примером КПДП может служить БИС Intel 8237A (K580BT57), имеющая 4 независимых канала ПДП и возможность каскадирования схем до любого числа каналов. Контроллеры ПДП позволяют организовать обмен типа “память-память”, т.е. решать задачу перемещения блоков данных в адресном пространстве системы. Частным случаем этой задачи является, например, начальная загрузка памяти программ после включения микропроцессорной системы.

### **2.5. Программно-управляемый обмен данными по последовательному каналу**

С увеличением расстояния обмен данными по параллельному каналу становится неприемлемо сложным и экономически невыгодным. В этом случае применяют преобразование параллельного кода в последовательный для его передачи по одной сигнальной линии.

Кроме того, последовательный канал характеризуется сравнительно небольшим числом сигнальных линий. Это дает ему определенные преимущества, например, при интегрировании устройств в систему, даже если устройства расположены на малых расстояниях друг от друга.

Тракт передачи последовательных данных в общем случае включает в себя передатчик и приемник данных. Система передачи может

быть *симплексной*, *полудуплексной* или *дуплексной*. В первом случае данные передаются только в одну сторону, во втором – в обе, но с разделением во времени, в третьем – в обоих направлениях одновременно. Скорость передачи данных характеризуют количеством изменений состояний канала в секунду. Единицей измерения является *бод* (baud).

Реализация последовательного канала на физическом уровне может быть самой разнообразной. Основные усилия в совершенствовании физической реализации последовательного канала направлены на повышение скорости обмена данными, увеличение расстояния и помехозащищенности канала.

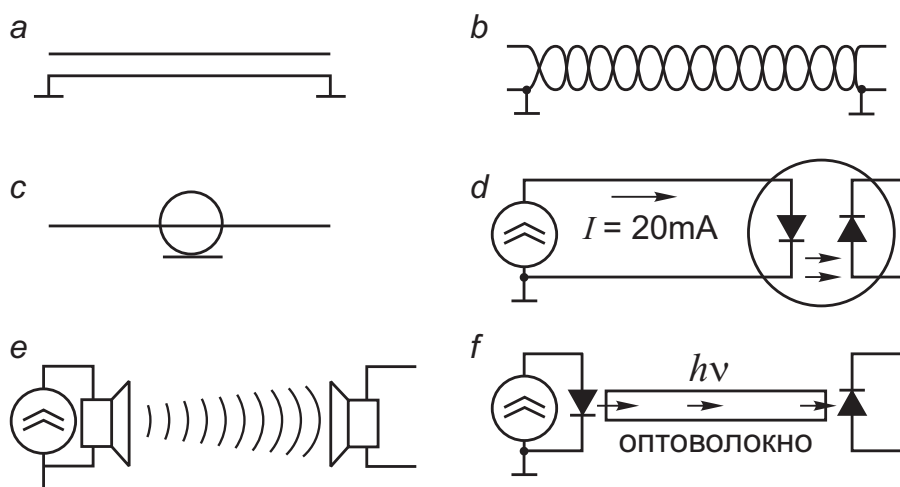


Рис. 2.24. Реализация последовательного канала на физическом уровне: *a* – двухпроводная линия; *b* – витая пара; *c* – коаксиальная линия; *d* – токовая петля; *e* – акустика или радио; *f* – оптоволоконная линия

Для правильного приема необходимо точное определение приемником моментов времени, в которые следует считывать с линии очередной бит данных. Это подразумевает установление синхронизации процессов в передатчике и приемнике. Можно связать передатчик и приемник специальной линией для синхронизации. Можно обойтись и без такой линии, применив синхронизацию приемника самим передаваемым сигналом, для чего сигналу придается определенная структура. Протоколы последовательного обмена задают два его вида: *синхронный* и *асинхронный*.

### 2.5.1. Синхронный обмен

При синхронной передаче байты (слова) следуют один за другим слитно, поэтому можно говорить о передаче массива байтов. Если очередной символ не готов, передача не останавливается, передатчик продолжает посылать в линию синхронизирующие импульсы. Синхронный обмен повышает скорость передачи данных. На рис. 2.25

показана схема организации синхронного обмена данными по последовательному каналу. Общепринятые обозначения сигналов и линий

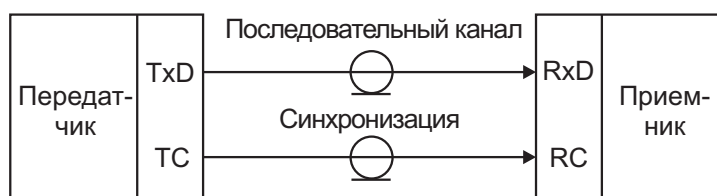


Рис. 2.25. Синхронный обмен данными по последовательному каналу

последовательного интерфейса: ТxD – выход передатчика, RxD – вход приемника, ТС – выход синхронизации, RC – вход синхронизации.

Различают две разновидности синхронных передач – с внутренней и внешней синхронизацией.

При *внутренней синхронизации* перед массивом данных передают слова - байты (слова) синхронизации (одно или два). При отсутствии передачи передатчик не перестает работать, а посылает в линию байты (слова) синхронизации, пока не возобновится передача данных. Приемник при этом находится в режиме активного ожидания (Hunt – охота). Он сравнивает каждое принятое слово со словом синхронизации. Если результат сравнения отрицательный, то обращения к данному приемнику нет. Слова данных не разделяются служебными битами.

При *внешней синхронизации* в канал связи добавляется дополнительная линия синхронизации (см. рис. 2.25). Временные диаграммы пересылки байта данных при внешней синхронизации показаны на рис. 2.26. Характерной особенностью синхронного режима является равенство частот модуляции (т.е. выхода битов в линию ТxD) и синхронизации.

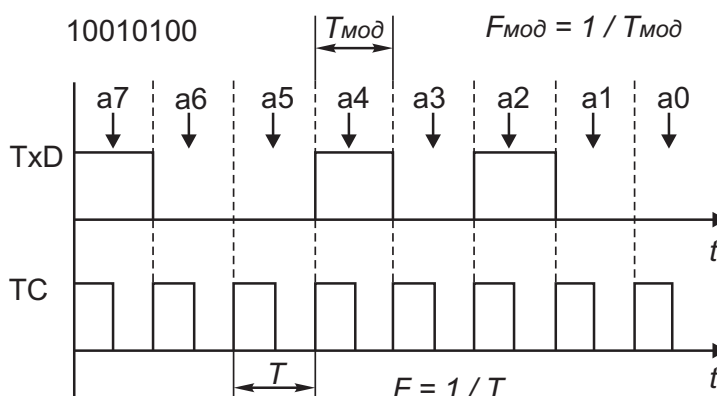


Рис. 2.26. Передача байта данных в синхронном режиме

## Контроллер синхронной передачи данных

Основу контроллера для вывода данных по последовательному каналу составляет преобразователь параллельного кода в последовательный. В контроллере синхронной передачи данных (рис. 2.27) такой преобразователь организован на основе последовательно-параллельного регистра сдвига с параллельным входом и последовательным выходом (Parallel Input, Serial Output - PISO).

Большая часть схемы контроллера для синхронной передачи идентична рассмотренной ранее схеме контроллера периферийного устройства для работы по прерываниям (см. рис. 2.11). Новые узлы, до-

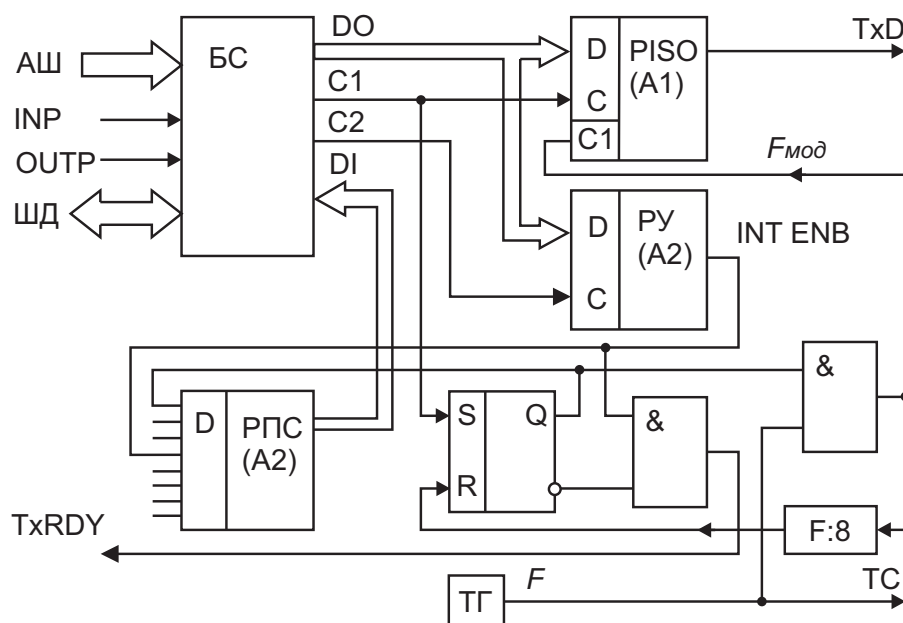


Рис. 2.27. Контроллер синхронного вывода данных

бавленные в схему контроллера: регистр сдвига PISO, параллельный вход которого подключен в качестве регистра данных (A1); тактовый генератор (ТГ) с частотой  $F$ ; счетчик-делитель по модулю 8 для подсчета выданных в линию битов; логический элемент для подачи импульсов сдвига с частотой  $F_{\text{МОД}}$  на вход C1 регистра сдвига.

Последовательность действий контроллера при передаче байта выглядит следующим образом:

1) микропроцессор выводит байт данных в порт вывода с адресом A1. Этот порт соответствует параллельному входу регистра сдвига PISO;

2) строб выхода C1 устанавливает флаговый триггер. Это соответствует загрузке регистра сдвига байтом данных;

3) единичное состояние флагового триггера поступает на логический элемент И, который начинает пропускать импульсы сдвига  $F_{\text{МОД}}$  на вход C1 регистра сдвига;

4) под действием этих импульсов регистр сдвига начинает выдавать на выход TxD последовательный код, который соответствует битам загруженного в PISO байта данных. Вывод происходит от младших битов к старшим. Количество выведенных битов фиксируется счетчиком-делителем (F:8). Этот счетчик автоматически сбрасывается каждый раз при записи в PISO нового байта данных;

5) при переполнении счетчика-делителя формируется сигнал переноса, который подается на вход R флагового триггера и сбрасывает его. Это останавливает подачу импульсов сдвига на вход регистра PISO;

6) окончание передачи байта и соответственно готовность контроллера принять следующий байт данных можно контролировать программно или аппаратно. В первом случае проводят программный опрос регистра PПС и контроль флага занятости регистра сдвига. Это соответствует выводу данных в регистр PISO по флагам. Во втором случае, при установленном в регистре PУ бите разрешения прерывания INT ENB, формируется сигнал TxDY. Этот сигнал может быть использован как запрос на обслуживание контроллеру прерываний. Тогда вывод каждого последующего байта производится подпрограммой обслуживания прерывания.

### 2.5.2. Асинхронный обмен

При асинхронном обмене данные передаются по мере их готовности. Интервал между байтами (словами) может быть различным, хотя интервалы между битами в одном байте (слове) фиксированы. При отсутствии готовых данных линия простаивает.

При асинхронной передаче посылка (кадр), т.е. группа битов, отображающих передаваемое слово данных, имеет следующий формат: начало посылки отмечается нулевым старт-битом, за ним следуют биты данных младшими разрядами вперед, затем необязательный бит контроля по модулю два (бит четности/нечетности) и заканчивается посылка 1; 1.5 или 2 единичными стоп-битами (рис. 2.28). В отсутствие передачи линия находится под высоким потенциалом (активная пауза), соответствующим логической единице. Появление низкого уровня означает поступление старт-бита, свидетельствующего о последующей передаче известного заранее числа информационных битов. Далее может идти контрольный бит четности (нечетности). Стоп-бит также используется для проверки правильности передачи, но уже по другому критерию. Контролируется правильность формата посылки. Отсутствие на позиции стоп-бита высокого уровня напряжения свидетельствует об ошибке формата (кадра, обрамления). Длительность стоп-бита определяет минимальный промежуток между окончанием данного слова и началом следующего. Этот промежуток составляет

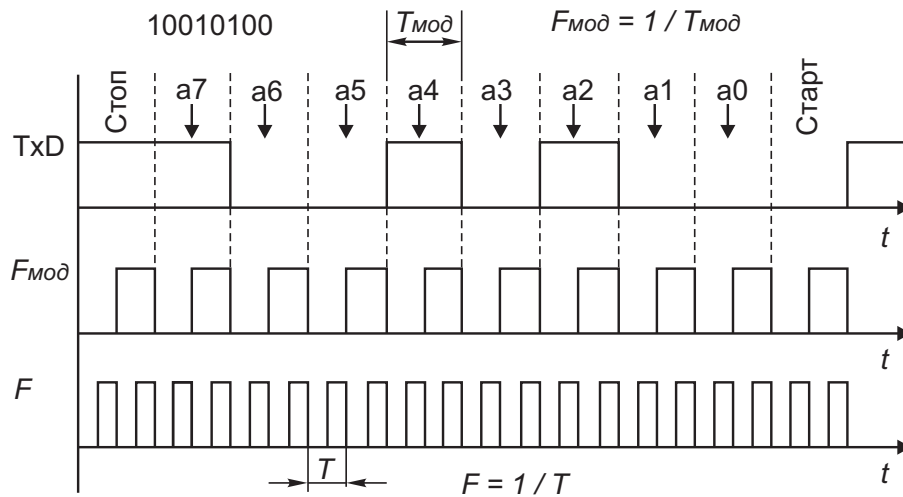


Рис. 2.28. Структура кадра для асинхронной передачи

1...2 интервала, соответствующих биты.

Приемник синхронизируется самим сигналом и должен считывать значения битов в серединах их интервалов, где искажения импульсов наименее влияют на величину считываемого уровня. Это требование достигается следующим образом. Передатчик и приемник имеют свои генераторы тактовых импульсов, работающие на одинаковой частоте. При отсутствии передачи передатчик устанавливает в линии высокий уровень напряжения (Mark). Появление нуля (старт-бита) отмечает начало передачи, которое фиксируется спадом напряжения ( $1 \rightarrow 0$ ). От этого фронта начинает работать генератор приемника. Приемник выдерживает интервал в половину длительности бита, проверяет, есть ли еще нуль на входе (контролирует истинность старт-бита с целью исключить реакцию на кратковременную помеху), и затем начинает воспринимать данные с интервалом в длительность бита (если старт-бит не подтвердился, то приемник возвращается в исходное состояние).

Частоты генераторов передатчика и приемника реально отличаются, поэтому отсчеты постепенно “сползают” с середины битов и смещаются к тому или иному краю импульсов. Однако за время короткой посылки (не более 10...11 битов) смещение отсчетов с середины битов легко сделать приемлемо малым.

Выборка отсчетов с середины битов производится благодаря тому, что частота тактового генератора в  $N$ -раз больше частоты следования битов (обычно выбирают  $N = 1; 16; 64$ ). На рис. 2.28 приведены временные диаграммы для  $N = 2$ .

### Контроллер асинхронной передачи данных

Схема контроллера асинхронной передачи данных по последовательному каналу (рис. 2.29) почти идентична рассмотренной ранее

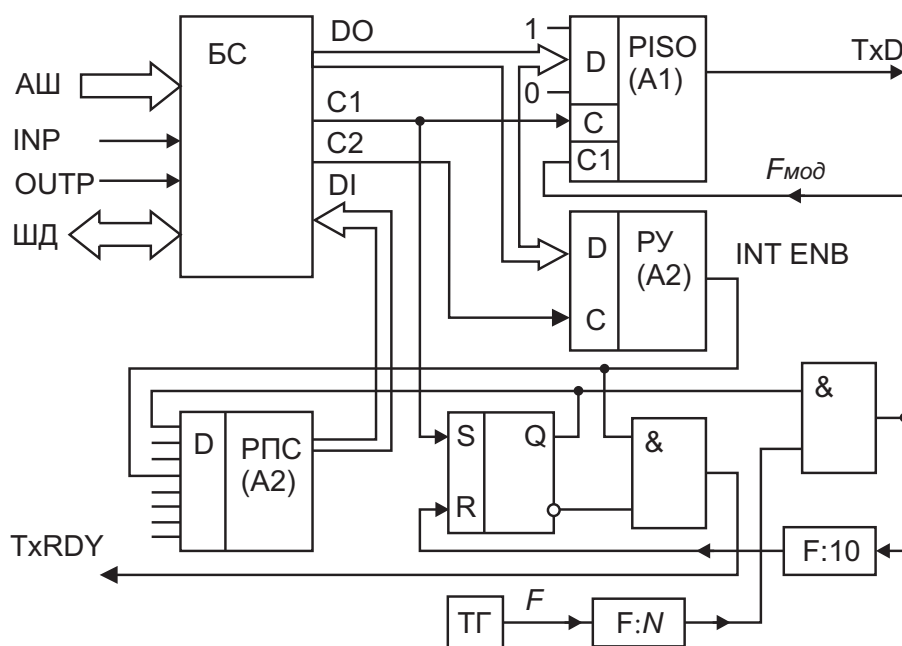


Рис. 2.29. Контроллер асинхронного вывода данных

схеме синхронного контроллера (см. рис. 2.27). Отличия состоят в следующем: регистр сдвига PISO содержит 10 разрядов, т.е. помимо 8 битов данных аппаратно формируются старт-бит (0) и стоп-бит (1); счетчик-делитель по модулю 10; дополнительный делитель частоты тактового генератора с коэффициентом деления  $N$ . Выход синхронизации TC отсутствует.

Для организации последовательного канала на практике используют серийно выпускаемые БИС контроллеров под названием универсальный программируемый синхронно/асинхронный приемопередатчик – УСАПП (UniversalSynchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter – USART). Примером таких контроллеров могут служить БИС Intel 8251A (К580BB51A). Контроллеры, в которых реализуются только асинхронные протоколы, называются УАПП (UART).

USART/USART – универсальный синхронный/асинхронный полнодуплексный интерфейс с двумя однонаправленными несбалансированными линиями данных. Контроллер представляет собой электронное устройство, состоящее из одной интегральной микросхемы, которая может посылать и принимать данные по асинхронным последовательным каналам связи, таким как RS232. UART является программируемым устройством, поскольку в нем предусмотрены специальные управляющие сигналы, позволяющие разработчику задать параметры работы устройства, такие как скорость передачи данных, четность, количество стоп-битов и сигналы управления модемом.

## 2.5.3. Интерфейсы последовательного канала

## Интерфейс RS232C

Интерфейс RS-232C/ССТТ V24 является наиболее распространенным стандартом для построения последовательных каналов связи. Он содержит две однонаправленные несбалансированные линии для обмена данными между двумя устройствами на расстоянии до 12 м ( $C < 2500$  пФ). Скоростной режим до 115 кбит/с.

Стандарт на данный интерфейс был разработан Ассоциацией электронной промышленности (EIA). Стандартизованы физический уровень, 25-контактный разъем типа DB25 с 20 сигналами. Интерфейс предназначен для работы с оборудованием двух видов:

- терминальное оборудование (**Data Terminal Equipment – DTE**);
- связное оборудование (**Data Communication Equipment – DCE**).

Терминальное оборудование может передавать или принимать данные по последовательному каналу. Оно как бы оканчивает (to terminate) последовательную линию. Связное оборудование не является окончательным оборудованием последовательного канала, а служит для соединения (связи) терминальных устройств между собой. На рис. 2.30 приведен пример последовательной линии связи двух компьютеров (ПК) через модемы. В этом примере компьютеры являются терминальным

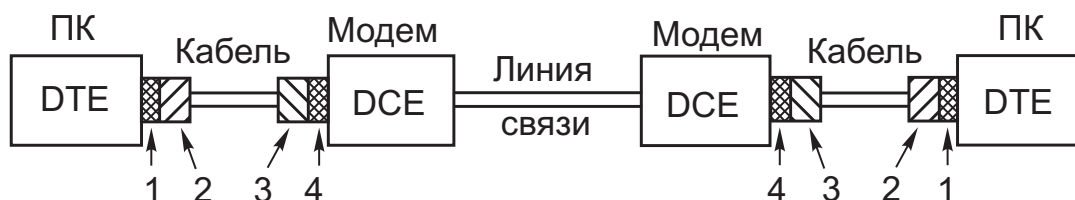


Рис. 2.30. Последовательная линия связи

оборудованием, а модемы – связным оборудованием. На терминальном оборудовании закреплены 25-контактные разъемы (штырьки) типа DB25M – (1). На связном оборудовании закреплены 25-контактные разъемы (гнезда) типа DB25F – (4). Компьютер и модем соединены модемным кабелем, оборудованным кабельными разъемами DB25F – (2) и DB25M – (3). Каждый провод модемного кабеля соединяет контакты с одинаковыми номерами.

Сигналы интерфейса RS-232C по функциональному признаку подразделяются на следующие классы:

- *последовательные данные* (например, TxD, RxD). Интерфейс обеспечивает два независимых последовательных канала данных: первичный (главный) и вторичный (вспомогательный). Оба канала могут работать в дуплексном режиме, т.е. одновременно осуществляют прием и передачу данных;



- *управляющие сигналы квитирования* (например, RTS, CTS). С помощью сигналов квитирования DTE-устройство начинает диалог с DCE-оборудованием до начала фактического обмена данными;

- *сигналы синхронизации* (например, TC, RC) используются при работе в синхронном режиме. На практике вспомогательный канал RS-232C применяется редко. В асинхронном режиме из 25 линий обычно используют только девять линий и соответственно применяют 9-контактные разъемы D-типа (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Линии интерфейса RS-232C в 9-контактном разьеме

| Контакт | Сигнал | Назначение                 | Направление |
|---------|--------|----------------------------|-------------|
| 1       | DCD    | Обнаружение несущей данных | DTE ← DCE   |
| 2       | RxD    | Прием данных               | DTE ← DCE   |
| 3       | TxD    | Передача данных            | DTE → DCE   |
| 4       | DTR    | Готовность терминала       | DTE → DCE   |
| 5       | SG     | Земля сигнальная           |             |
| 6       | DSR    | Готовность модема          | DTE ← DCE   |
| 7       | RTS    | Запрос передачи            | DTE → DCE   |
| 8       | CTS    | Сброс передачи             | DTE ← DCE   |
| 9       | RI     | Индикатор звонка           | DTE ← DCE   |

Спецификация сигналов квитирования:

$\overline{DSR}$  (Data Set Redy) – запрос готовности передатчика терминала, сигнал связан с одноразрядным портом и может быть проверен процессором чтением слова состояния. Низкий уровень этого сигнала говорит о том, что модем имеет информацию для передачи процессору;

$\overline{DTR}$  (Data Terminal Redy) – этот сигнал является реакцией на запрос  $\overline{DSR}$ . Активизируется соответствующим битом командного слова, если процессором разрешен обмен с модемом. Связан с разрешением модему посылки данных на вход терминала;

$\overline{RTS}$  (Request to send) – сигнал связан с одноразрядным выходным портом. Он является запросом готовности приемника принять данные. Задается программированием соответствующего бита в командном слове, когда процессору разрешен обмен с модемом;

$\overline{CTS}$  (Clear to Send) – сигнал готовности приемника терминала принять данные. Низкий уровень этого сигнала разрешает передачу последовательных данных. При снятии этого сигнала во время работы передатчика он будет передавать все данные, записанные до запрещения передачи, прежде чем остановится.

Для обеспечения высокой помехозащищенности в интерфейсе используют сравнительно высоковольтные уровни сигналов, отличаются от логических уровней ТТЛ:

- логический ноль (SPACE, зеленый): от +3 до +25 В;
- логическая единица (MARK, красный): от –3 до –25 В.

Преобразование ТТЛ-уровней в уровни интерфейса RS-232С и наоборот производится специальными микросхемами драйвера линии (1488) и приемника линии (1489).

Для соединения двух DTE-устройств по последовательному каналу применяют специальный “нуль-модемный кабель”. Его функция заключается в изменении сигнальных линий таким образом, чтобы превратить DTE-оборудование в DCE-устройство. На рис. 2.31 показан один из возможных вариантов организации нуль-модемного соединения с использованием 9-контактных разъемов. Для обеспечения работы интерфейса требуется соответствующий набор сигналов квитирования.

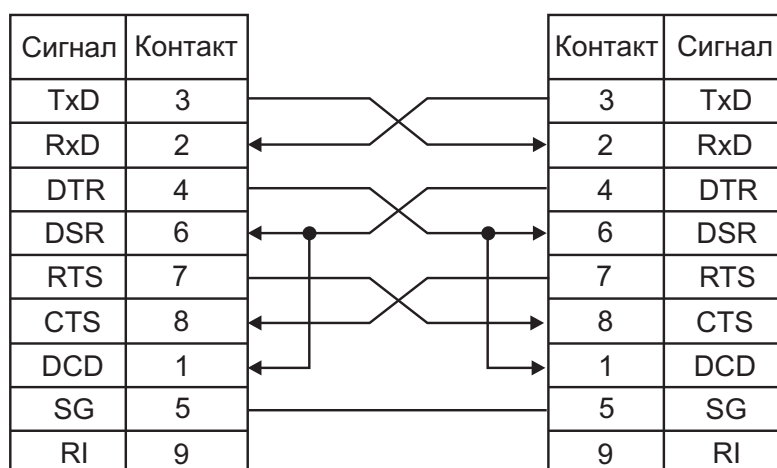


Рис. 2.31. Нуль-модемное соединение в 9-контактном варианте

В простейшем асинхронном варианте для организации последовательного канала связи без сигналов квитирования достаточно всего трех линий: TxD, RxD, Gnd.

Разработаны новые стандарты, направленные на устранение недостатков первоначальных спецификаций интерфейса RS-232С. Эти стандарты позволяют улучшить согласование линии, увеличить расстояние и повысить скорость передачи данных. Отметим среди них интерфейсы: RS-422 (балансная система, допускающая импеданс линии до 50 Ом), RS-423 (небалансная система с минимальным импедансом линии 450 Ом), RS-449 (стандарт с очень высокой скоростью передачи данных, в котором несколько изменены функции схем и применяется 37-контактный D-разъем) и RS-485 (двунаправленная сбалансированная линия передачи с максимальной скоростью передачи

10 Мбит/с, поддерживает многоточечные соединения до 32 узлов и передачу на расстояние до 1200 м, поддерживает полдуплексную связь – для передачи и приема данных достаточно одной витой пары).

## Интерфейс SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) – полнодуплексный скоростной синхронный 4-проводной интерфейс был разработан фирмой Motorola. Этот интерфейс быстро становится промышленным стандартом, он поддержан фирмами Microchip, Motorola, Atmel и многими другими. Интерфейс SPI совместим с известным интерфейсом Microwire, разработанным в National Semiconductor. Организация системы для обмена данными по SPI интерфейсу показана на рис. 2.32. В основу интерфей-

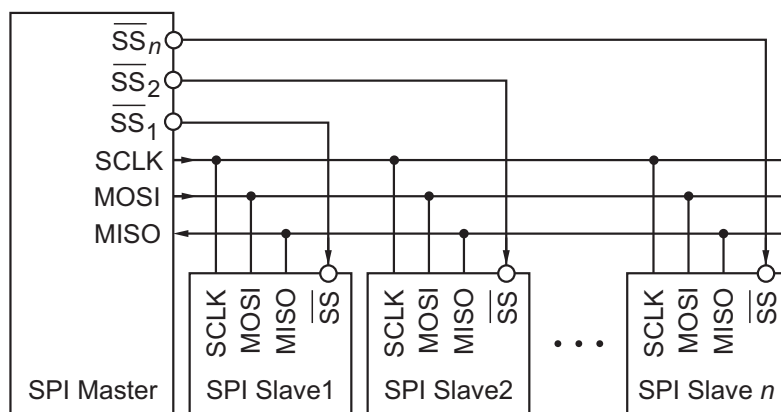


Рис. 2.32. Организация интерфейса SPI

са положена концепция ведущий-ведомый (Master-Slave). Протокол обмена не стандартизован. Назначение выводов интерфейса по спецификации фирмы Motorola:

MISO – (Master In, Slave Out) ведущий - вывод, ведомый - ввод;

MOSI – (Master Out, Slave In) ведущий - ввод, ведомый - вывод;

SCK – (SPI Clock) линия тактирования (синхронизации);

$\overline{SS}$  – (Slave Select) линия аппаратного выбора ведомого устройства.

Система удобна тем, что одноименные выводы ведущего и ведомого устройств просто соединяются между собой, т.е. ведущий (MISO) – ведомый (MISO), ведущий (MOSI) – ведомый (MOSI). Международная спецификация имеет другую систему обозначений:

SDI — вводимые данные (MISO или MOSI);

SDO — выводимые данные (MISO или MOSI);

$\overline{CS}$  — выбор кристалла.

В обозначениях данной спецификации следует соединять между собой разноименные выводы, т.е. ведущий (SDO) – ведомый (SDI), ведущий (SDI) – ведомый (SDO). Интерфейс SPI поддерживает скоростные режимы в широком диапазоне до 10 Мбит/с.

## Интерфейс I2C

I2C = I<sup>2</sup>C = ИС (Inter-Integrated Circuit) – полудуплексный 2-проводный синхронный последовательный интерфейс был разработан фирмой Philips Corporation. Организация системы для обмена данными по I<sup>2</sup>C интерфейсу показана на рис. 2.33. Описание приведено по версии 2.1, 2000 г. В основу интерфейса также положена концепция ведущий-ведомый (Master-Slave). Спецификация выводов интерфейса I2C следующая:

SCL – (Serial Clock Line) линия тактирования(синхронизации);

SDA – (Serial DAta Line) линия передачи-приема данных.

Доступ к ведомым устройствам осуществляется программно по 7-битному адресу, можно адресовать 127 устройств, а один адрес зарезервирован. Оставшийся бит адреса выполняет роль флага “Чтение-Запись”.

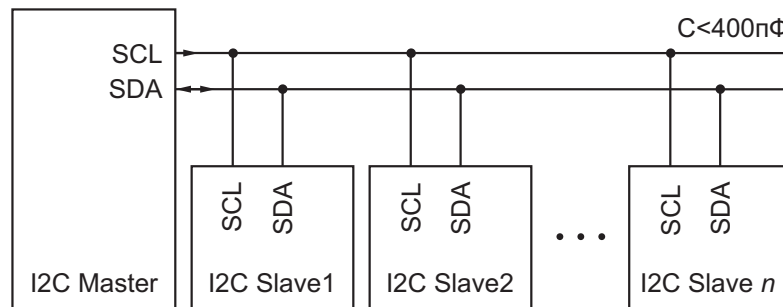


Рис. 2.33. Организация интерфейса I2C

Области применения: связь кристаллов БИС между собой в микропроцессорной системе. Скорости не экстремально большие, но вполне достаточны для аудио/видео потоков данных. Линия протяженностью до 2 м. Интерфейс поддерживает скоростные режимы: стандартный – 100 Кбит/с; быстрый – 400 Кбит/с; высокоскоростной – 3.4 Мбит/с.

## Интерфейс CAN

CAN (Control Area Network) является промышленным стандартом (ISO 11898/11519, CAN версия 2.0). Он предназначен для организации высоконадежных недорогих каналов связи в распределенных системах управления. Интерфейс широко применяется в промышленности, энергетике и на транспорте. Позволяет строить как дешевые мультиплексные каналы, так и высокоскоростные сети. Представляет из себя дифференциальный двухпроводный асинхронный старт-стопный интерфейс. Организация интерфейса CAN показана на рис. 2.34. Интерфейс с применением протокола CAN легко адаптируется к физической среде передачи информации. Это может быть дифференциальный сигнал, оптоволокно, просто открытый коллектор и т.п. Несложно дела-

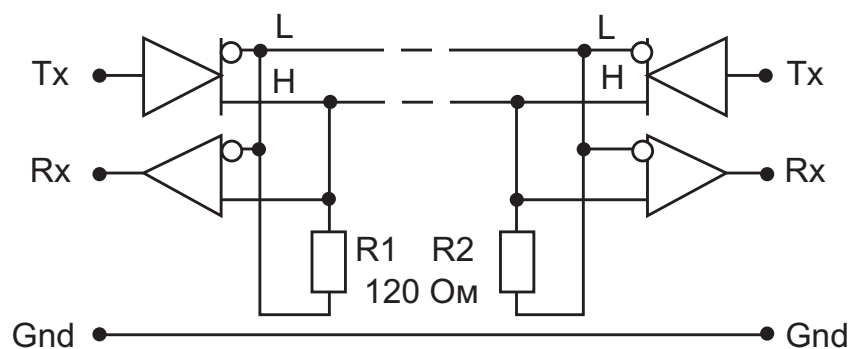


Рис. 2.34. Организация интерфейса CAN

ется гальваническая развязка. В качестве последовательного канала допускается использовать экранированную витую пару (STP), неэкранированную витую пару (UTP) или простую двухпроводную линию (Ribbon cable). Элементная база, поддерживающая CAN, широко выпускается в индустриальном исполнении. Информация одновременно поступает на все узлы сети. Имеется стандартизованный протокол обмена и распознавания устройств. Максимальное расстояние передачи данных зависит от скорости обмена. Интерфейс поддерживает скоростные режимы: минимум – 10 Кбит/с (до 1 км); стандарт – 20 Кбит/с; скоростной – 1 Мбит/с (до 40 м).

Уровни напряжения: высокий (H): 2.75 – 4.5 В, низкий (L): 0.5 – 2.25 В, разность: 1.5 – 3.0 В. Ток выхода – 100 мА. Кодирование логических уровней осуществляется по схеме Non-Return-to-Zero (NRZ): логический ноль, если было изменение уровня; логическая единица, если значение уровня сохраняется.

Каждый узел содержит закрепленный на корпусе 9-контактный разъем 9DBM (штырьки). В лабораторных условиях допустимы также другие виды разъемов. Например, часто используют сравнительно дешевый 8-контактный разъем RJ-45.

Максимальное число абонентов, подключенных к данному интерфейсу, определяется нагрузочной способностью примененных приемопередатчиков. Например, при использовании *трансивера* фирмы PHILIPS PCA82C250 она равна 110.

Протокол CAN использует оригинальную систему адресации сообщений. Каждое сообщение снабжается идентификатором, который определяет назначение передаваемых данных, но не адрес приемника. Любой приемник может реагировать как на один идентификатор, так и на несколько. На один идентификатор могут реагировать несколько приемников.

Протокол CAN обладает развитой системой обнаружения и сигнализации ошибок. Для этих целей используется поразрядный контроль, прямое заполнение битового потока, проверка пакета сообще-

ния CRC-полиномом, контроль формы пакета сообщений, подтверждение правильного приема пакета данных. Хемминговый интервал  $d=6$ . Общая вероятность необнаруженной ошибки  $4.7 \times 10^{-11}$ . Система арбитража протокола CAN исключает потерю информации и времени при “столкновениях” на шине.

### Интерфейс USB

USB (Universal Serial Bus) разработан совместно фирмами Compaq, Digital Equipment, IBM, Intel, Microsoft и Northern Telecom. Последовательный канал USB представляет собой дифференциальную двунаправленную последовательную шину, состоящую из 4 линий: витая пара (сигналы), питание (от +4.7 до +5.2 В, ток до 500 мА) и земля. Максимальная длина до 5 м. Интерфейс USB предназначен для интегрирования периферийных устройств в систему. Организация интерфейса USB показана на рис. 2.35. В систему интерфейса USB входят

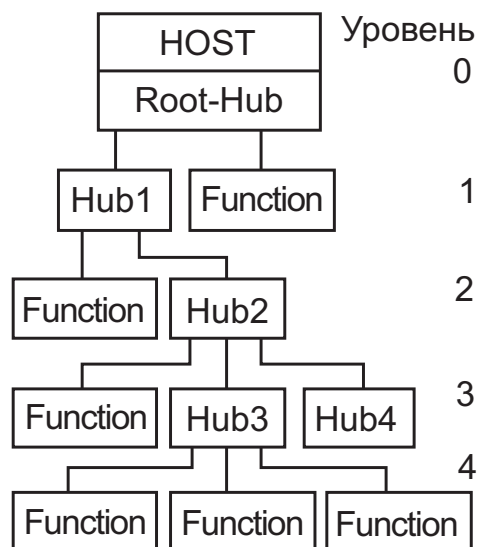


Рис. 2.35. Организация интерфейса USB

следующие виды оборудования: головное устройство (Host) – одно на всю систему, концентраторы (Hub) – можно каскадировать до третьего уровня, конечные периферийные устройства (Function) – до 127 устройств (адрес – 7 битов), подключаются к концентраторам на уровнях 0...3. Контроллер USB занимает в системе только одно прерывание независимо от количества подключенных к шине устройств. Логические уровни: 2.8 В (H), 0.3 В (L) – 1-й и 2-й режимы; 400 мВ (H) - 0 В (L) – скоростной режим. Импеданс кабеля – 90 Ом. Используется NRZI-кодирование логических уровней (ноль – изменение уровня, единица – сохранение уровня). Применяют специальные USB-разъемы: тип А – для подключения со стороны концентратора или головного оборудования и тип В – для подключения со стороны периферийного уст-

ройства. Скорости передачи (версия 2.0): 10 кбит/с – 100 кбит/с (Low-speed); 500 кбит/с – 10 Мбит/с (Full-speed); 25 Мбит/с – 400 Мбит/с (High-speed).

Все передачи данных по интерфейсу инициируются головным устройством (Host). Данные передаются в виде пакетов. В интерфейсе USB используется несколько разновидностей пакетов:

**Token Paket** – пакет-признак описывает тип и направление передачи данных, адрес устройства и порядковый номер адресуемой части USB-устройства (конечная точка). Пакеты-признаки бывают нескольких типов: IN, OUT, SOF, SETUP;

**Data Packet** – пакет с данными содержит передаваемые данные;

**Handshake Packet** – пакет согласования предназначен для сообщения о результатах пересылки данных; пакеты согласования бывают нескольких типов: ACK, NAK, STALL.

Таким образом, каждая транзакция состоит из трех фаз: фаза передачи пакета-признака, фаза передачи данных и фаза согласования.

В USB используются несколько типов пересылок информации:

- *управляющая пересылка* (Control Transfer) – используется для конфигурации устройства, а также для других специфических для конкретного устройства целей;

- *потокковая пересылка* (Bulk Transfer) – используется для передачи относительно большого объема информации;

- *пересылка с прерыванием* (Interrupt Transfer) – используется для передачи относительно небольшого объема информации, для которого важна своевременная его пересылка. Имеет ограниченную длительность и повышенный приоритет относительно других типов пересылок;

- *изохронная пересылка* (Isochronous Transfer) – также называется потоковой пересылкой реального времени. Информация, передаваемая в такой пересылке, требует реального масштаба времени при ее создании, пересылке и приеме.

В связи с тем, что в интерфейсе USB реализован сложный протокол обмена информацией, в устройстве сопряжения с интерфейсом USB обязательно должен присутствовать микропроцессорный блок, обеспечивающий поддержку протокола.

### 3. ОДНОКРИСТАЛЬНЫЕ 8- И 16-РАЗРЯДНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ

Микропроцессоры фирмы Intel и различные их аналоги и модификации широко применяются во всем мире. Эта фирма разработала первый микропроцессор, затем целый ряд микропроцессорных семейств. При изучении организации микропроцессоров целесообразно ориентироваться на конкретные образцы. В настоящем разделе обсуждаются однокристальные 8- и 16-разрядные микропроцессоры i8080, i8085a и i8086. Это достаточно простые микропроцессоры, на примере которых легко проследить основные принципы их работы.

#### 3.1. Микропроцессор i8080

##### 3.1.1. Общая характеристика

Однокристальный 8-разрядный микропроцессор с фиксированной системой команд i8080 был разработан фирмой Intel и появился в 1974 г. Впоследствии многие другие фирмы (NEC, AMD, Philips и др.) также освоили технологию производства этого микропроцессора и наладили выпуск многочисленных его клонов. На территории бывшего СССР этот микропроцессор выпускался предприятиями “Электроприбор” (с 1983 г.), “Квазар” (с 1988 г.), “Днепр” (с 1992 г.) и др. Первоначальное название микропроцессора было КР580ИК80А, т.к. ГОСТ не содержал буквенного идентификатора для обозначения микропроцессора. После введения нового ГОСТа кристалл стали маркировать как КР580ВМ80А.

Микропроцессор i8080 выполнен по *n*-МОП (6 мкм) технологии на Si-кристалле площадью 30 мм<sup>2</sup> (4.16×4.85 мм<sup>2</sup>) и содержит в своем составе около 5 тыс. транзисторов. Тактовая частота составляет 2 МГц номинально (максимальная – до 3 МГц). Кристалл размещен в пластмассовом или керамическом корпусе типа DIP (Dual In-line Package) с 40 выводами. Для работы микропроцессора необходимы три уровня электропитания с общей мощностью 1.25 Вт:  $U_{cc}^1 = +5.24$  В,  $U_{cc}^2 = +12$  В и  $U_{cc}^3 = -5$  В.

Микропроцессор характеризуется 16-разрядной адресной шиной (АШ) и байтовой структурой памяти. Объем адресного пространства составляет 64 Кб. Выделенная шина данных имеет 8 битов. При помощи внешних БИС микропроцессорного комплекта возможно организовать векторные прерывания, прямой доступ к памяти и программно-



управляемый обмен данными через 256 портов ввода-вывода. Микропроцессор имеет средства для организации разделенных адресных пространств ввода-вывода и основной памяти.

Микропроцессоры обычно выпускаются в составе микропроцессорного комплекта, куда помимо самого микропроцессора входят различные вспомогательные и интерфейсные БИС. Так, в состав микропроцессорного комплекта КР580 входят следующие БИС:

- КР580ВМ80А** – центральный микропроцессор;
- КР580ВК28** – системный контроллер;
- КР580ВВ55** – программируемый параллельный интерфейс;
- КР580ВВ51** – программируемый последовательный интерфейс;
- КР580ВН59** – программируемый контроллер прерываний;
- КР580ВИ53** – программируемый 3-канальный таймер;
- КР580ВТ57** – программируемый 4-канальный контроллер ПДП;
- КР580ВГ75** – программируемый контроллер видеотерминала;
- КР580ВГ79** – программируемый контроллер клавиатуры и дисплея;
- КР580ГФ24** – генератор тактовых импульсов;
- КР580ВА86** – 8-битный шинный формирователь;
- КР580ВА87** – инвертирующий 8-битный шинный формирователь;
- КР580ИР82** – 8-битный буферный регистр;
- КР580ИР82** – 8-битный инвертирующий буферный регистр.

#### 3.1.2. Структурная схема микропроцессора

Структурная схема микропроцессора i8080 показана на рис. 3.1, обозначение выводов – на рис. 3.2. Микропроцессор имеет восьмиразрядную (внутреннюю) шину данных, через которую функциональные узлы обмениваются информацией. На схеме приняты следующие обозначения:

- А** (Accumulator) – регистр-аккумулятор, выполненный на двухступенчатых триггерах и способный хранить одновременно два слова (один из операндов и результат операции);
- Т** (Temporary) – регистр временного хранения одного из операндов;
- АЛУ** – арифметико-логическое устройство, выполняющее действия над двумя операндами, подаваемыми на его входы из регистров А и Т. АЛУ непосредственно выполняет лишь операции сложения, вычитания, сдвига, сравнение операндов, поразрядные логические операции (конъюнкция, дизъюнкция, сложение по модулю 2);
- Ф** – регистр признаков (флагов), т.е. битов, указывающих признаки результатов арифметических или логических операций, выполненных в АЛУ. Указываются пять признаков: **Z** (Zero) – нулевой

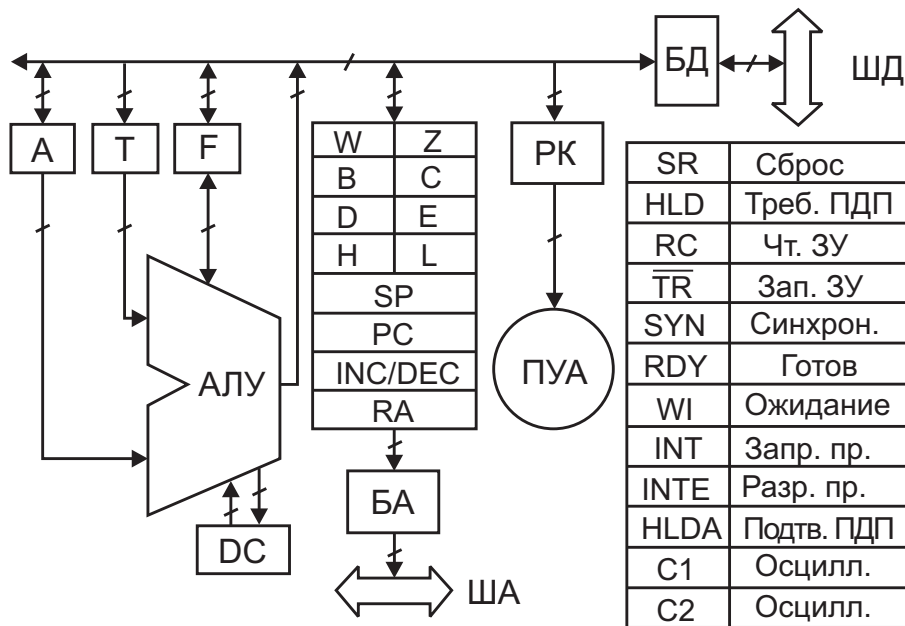


Рис. 3.1. Структурная схема микропроцессора i8080

результат, **C** (Carry) – перенос (или заем), **AC** (Auxiliary Carry) – вспомогательный перенос, **S** (Sign) – знак, **P** (Parity) – четность веса слова. Признак вспомогательного переноса (переноса между младшей и старшей тетрадами восьмиразрядного слова) нужен при выполнении операций над числами в двоично-десятичном коде. Смысл остальных признаков ясен из их наименования. Признаки служат для управления ходом процесса обработки информации. Спецификация битов регистра признаков:

|       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a_7$ | $a_6$ | $a_5$ | $a_4$ | $a_3$ | $a_2$ | $a_1$ | $a_0$ |
| S     | Z     | 0     | Ac    | 0     | P     | 1     | Cy    |

**DC** – схема десятичной коррекции результата сложения. Используется для выполнения операции сложения чисел в двоично-десятичном коде;

**ПК** – регистр команд (кода операции);

**ПУА** – первичный управляющий автомат;

**БА и БД** – буферы адреса и данных соответственно.

### Блок регистров

С внутренней шиной данных через мультиплексор связан блок регистров общего назначения и специальных функций. Регистры обозначены буквами **W**, **Z**, **B**, **C**, **D**, **E**, **H**, **L**, **SP** и **PC**. Регистры **W** и **Z** предназначены только для временного хранения данных при выборке команды из памяти. Пользователю они программно недоступны. Регистры **B**, **C**, **D**, **E**, **H** и **L** являются регистрами общего назначения. Эти восьмиразряд-

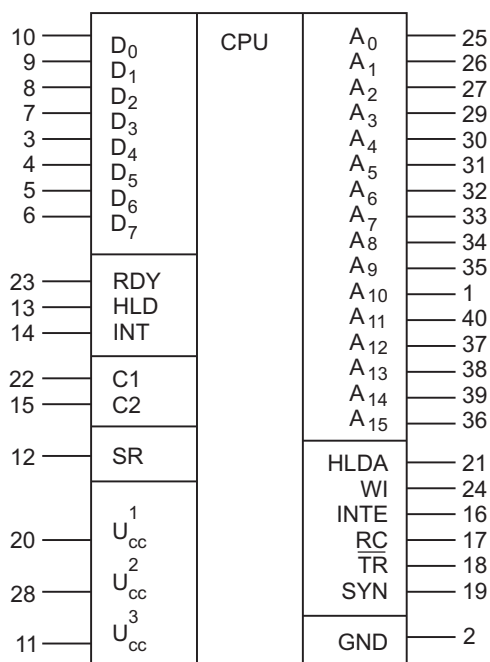


Рис. 3.2. Обозначение микропроцессора i8080 на принципиальной схеме

ные регистры могут применяться либо по отдельности, либо в составе регистровых пар BC, DE, HL. Пары регистров именуются по первым (старшим) регистрам пары: B, D и H. Пара регистров HL, как правило, используется для размещения в ней адреса при косвенной адресации. В блоке регистров имеются также 16-разрядные регистры и PC.

Регистр SP (Stack Pointer) – указатель стека. Аппаратно стек реализуется в ОЗУ, где для него выделяется определенная область. Указатель стека хранит адрес последней занятой ячейки памяти. В микропроцессоре i8080 стек является перевернутым: при записи данных в стек содержимое указателя стека уменьшается. Иными словами, стек растет в направлении от больших адресов к меньшим. Основное назначение стека – обслуживание процесса передачи управления подпрограмме.

Регистр PC (Program Counter) – счетчик команд содержит адрес следующего кода операции для выборки. При сбросе микропроцессора счетчик команд обнуляется. Содержимое счетчика команд после выборки очередного байта кода операции из памяти автоматически инкрементируется. При выборке многобайтной команды второй и третий байты команды поступают в регистры W и Z, которые не адресуются программно, а используются только блоком внутреннего управления.

Схема INC/DEC изменяет передаваемые через нее байты на +1 и –1 соответственно. Такие операции называются инкрементом и декрементом.

Регистр команд РК принимает из памяти первый байт кода операции, который поступает на вход первичного управляющего автома-

та ПУА. После декодирования ПУА формирует последовательность микрокоманд, необходимых для выполнения операции. Первичный управляющий автомат реализован на базе схем с фиксированными логическими функциями и выполняет роль устройства управления микропроцессора.

### Сигналы синхронизации и управления

Блок управления и синхронизации обменивается с внешними устройствами специальными сигналами (см. рис. 3.1).

- SR** – вход сигнала сброса микропроцессора в начальное состояние. Сигнал может поступить в любое время по команде оператора. Автоматически формируется при включении питания. Под его воздействием сбрасываются регистры РС и РК, триггеры разрешения прерываний **INTE**, подтверждения ПДП **HLDA** и т.п.;
- C1, C2** – на эти выходы подаются сигналы внешнего тактового генератора, т.к. микропроцессор i8080 не имеет встроенного тактового генератора. В качестве внешнего тактового генератора обычно используют микросхему КР580ГФ24, входящую в микропроцессорный комплект;
- SYN** – выход сигнала для синхронизации микропроцессорной системы;
- RC** – выход сигнала чтения из основной памяти системы;
- TR** – выход сигнала записи в основную память системы;
- RDY** – входной сигнал, показывающий, что память или **УВВ** готовы к обмену с микропроцессором. Если готовности нет, микропроцессор входит в состояние ожидания, которое может длиться любое число тактов вплоть до появления единичного сигнала **RDY**;
- WI** – выходной сигнал, показывающий, что микропроцессор находится в состоянии ожидания сигнала **RDY**. Сигнал автоматически снимается после прихода единичного уровня на вход **RDY**;
- INT** – вход запроса векторного прерывания, вызывающий генерацию сигнала **INTA**, если прерывание разрешено микропроцессору. После аппаратного сброса прием сигнала запрещается (прерывания запрещены);
- INTE** – выходной сигнал разрешения прерываний, показывающий состояние триггера разрешения прерывания. Сбрасывается в 0 после команды запрета прерываний **DI**, а также после приема сигнала прерывания **INT** или сигнала сброса **SR**;
- HLD** – вход сигнала требования ПДП;
- HLDA** – выход сигнала подтверждения ПДП. Формируется в конце текущего машинного цикла. Свидетельствует об отключении микропроцессора от системного интерфейса.

### 3.1.3. Тактирование и синхронизация в системе

*Командный цикл (КЦ)* начинается с выборки кода операции. Первый машинный цикл М1 – это выборка кода операции. В М1 микропроцессор получает первый байт команды. После этого могут быть еще один или два машинных цикла типа *чтение памяти*, поскольку команда может быть однобайтной, двухбайтной или трехбайтной.

*Машинный цикл (МЦ)* состоит из машинных тактов (рис. 3.3), в которых выполняются типовые действия – микрооперации. В командном цикле может быть 1...5 машинных циклов. Число тактов в различных машинных циклах – 3...5. Большинство машинных циклов содержат три машинных такта. Сигналы, реализующие тот или иной МЦ, генерируются первичным управляющим автоматом на основании информации, содержащейся в первом байте команды.

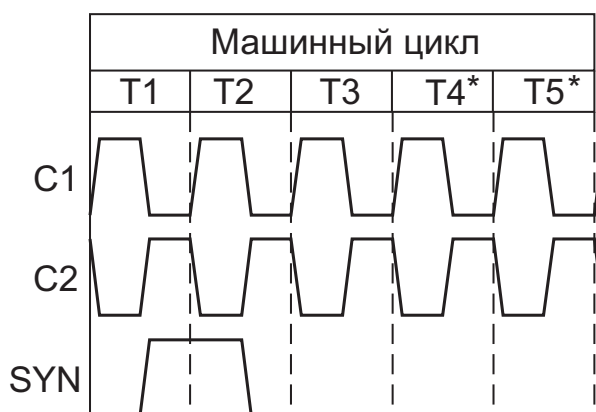


Рис. 3.3. Тактирование и синхронизация в системе

*Машинный такт (МТ)* равен по длительности временному интервалу в один период колебаний тактового генератора. Каждый машинный такт соответствует нахождению управляющего автомата в одном состоянии. Исключение составляют машинные такты ожидания прихода внешнего импульса, например – сигнала RDY.

В машинном цикле каждый машинный такт специфицирован по выполняемой управляющим автоматом функции:

- T1** – микропроцессор выставляет адрес на АШ, слово состояния процессора (ССП) – на ШД. Сигнал SYN идентифицирует информацию на ШД как ССП, служит стробом записи ССП во внешний регистр и идентифицирует начало каждого машинного цикла;
- T2** – проверка готовности внешних устройств к обмену (ожидание сигнала RDY);
- T3** – чтение или запись данных (операции обмена данными);
- T4, T5** – холостые машинные такты для выполнения команды, если это необходимо.

### Типы машинных циклов и слово состояния

Длительность одного и того же машинного цикла в различных командах может быть разной. Микропроцессор i8080 имеет 10 типов машинных циклов:

- 1) выборка кода операции – машинный цикл M1;
- 2) чтение из памяти;
- 3) запись в память;
- 4) Чтение из стека;
- 5) запись в стек;
- 6) ввод из УВВ;
- 7) вывод в УВВ;
- 8) подтверждение прерывания;
- 9) останов;
- 10) прерывания в режиме останова.

Цикл любой команды формируется комбинацией одного или нескольких машинных циклов. Комбинация перечисленных выше 10 машинных циклов обеспечивает выполнение более 70 различных команд микропроцессора. В начале каждого машинного цикла на ШД выдается однобайтное слово состояния процессора и формируется сигнал SYN. Каждому машинному циклу соответствует свое значение ССП (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Спецификация ССП по машинным циклам

| $d_i$ | Сигнал<br>состояния | Машинные циклы |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-------|---------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|       |                     | 1              | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0     | INTA                | 0              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1  |
| 1     | $\overline{WO}$     | 1              | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1  |
| 2     | STACK               | 0              | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 3     | HLTA                | 0              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  |
| 4     | OUT                 | 0              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  |
| 5     | M1                  | 1              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1  |
| 6     | INP                 | 0              | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 7     | MEMR                | 1              | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  |

Каждый бит ССП специфицирован по выполняемой функции:

**D0** – INTA, сигнал подтверждения прерывания. Используется для разрешения выдачи на ШД первой команды после прерывания при активном сигнале INT;

- D1** –  $\overline{WO}$ , указывает, что операция в текущем цикле является операцией записи (при  $D1 = 0$ ) или чтения (при  $D1 = 1$ );
- D2** – **STACK**, означает наличие на шине адреса содержимого указателя стека;
- D3** – **HLTA**, сигнал подтверждения команды останова HLT;
- D4** – **OUT**, указывает, что в текущем цикле выполняется операция вывода;
- D5** – **M1**, указывает, что текущий цикл служит для выборки первого байта команды;
- D6** – **INP**, указывает, что в текущем цикле выполняется операция ввода;
- D7** – **MEMR**, указывает, что в текущем цикле производится чтение памяти.

### Формирование системных управляющих сигналов

Набор управляющих сигналов: чтение из памяти ( $\overline{MEMR}$ ), запись в память ( $\overline{MEMW}$ ), ввод данных ( $\overline{INP}$ ), вывод данных ( $\overline{OUTP}$ ), подтверждение прерывания ( $\overline{INTA}$ ) – обеспечивает прием и передачу данных между микропроцессором, памятью и периферийными устройствами в определенные интервалы времени в соответствии с диаграммой переходов машинного цикла. Данные сигналы непосредственно не формируются микропроцессором i8080, для их формирования используются сигналы **RC**, **TR** и необходимые признаки из слова состояния (рис. 3.4). Слово состояния загружается в 8-битный регистр посредством сигнала синхронизации **SYN** и тактирующего сигнала **C2**, формируемого генератором тактовых импульсов. В качестве регистра ССП используют БИС многорежимного буферного регистра, входя-

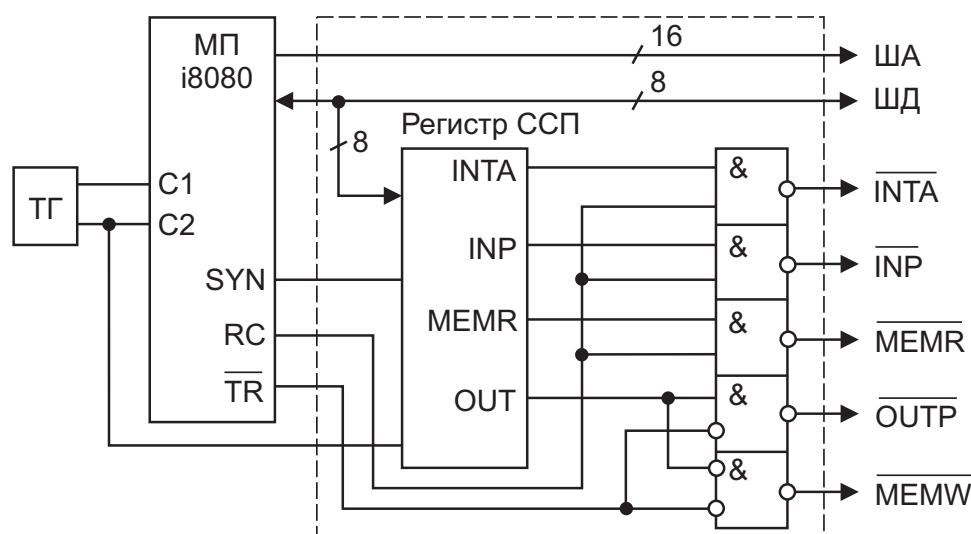


Рис. 3.4. Формирование системных управляющих сигналов

щую в состав микропроцессорного комплекта. Для повышения нагрузочной способности линий ША и ШД могут быть использованы также БИС шинных формирователей. Часть схемы (см. рис. 3.4), окруженная штриховой линией, выполняет функции системного контроллера. При практической реализации микропроцессорной системы системный контроллер выполняют обычно на базе специализированной БИС системного контроллера KP580BK28. Остальные сигналы шины управления (INT, HLD, HLDA, SR и т.п.) снимаются непосредственно с выводов микропроцессора.

### Алгоритм работы устройства управления в МЦ типа М1

Алгоритм работы первичного управляющего автомата в машинных циклах типа М1 показан на рис. 3.5. К машинным циклам типа М1 относят циклы М1...М7. На диаграмме использованы следующие условные обозначения: Tw – состояние ожидания микропроцессора, Twh – состояние ожидания при выполнении команды останова HLT, T1...T5 – состояния микропроцессора, соответствующие машинным тактам. Внутренние триггеры HLTA, INTA и HLDA – триггеры признаков подтверждения останова, прерывания и прямого доступа к памяти соответственно.

Работа управляющего устройства начинается с подачи сигнала сброса SR. Каждый машинный цикл содержит 3, 4 или 5 состояний в зависимости от типа выполняемой команды. Первое состояние T1 идентифицируется сигналом SYN, который используется для загрузки ССП в регистр. Кроме того, в момент времени T1 на ША выдается адрес устройства, к которому будет обращение.

В состоянии T2 микропроцессор анализирует признак подтверждения останова HLTA, сигнал готовности RDY и соответственно переходит в состояния Tw или Twh. Из состояния останова Twh микропроцессор может быть выведен сигналами SR, INT или HLD. Если имел место сигнал требования ПДП, то внутренний триггер HLDA устанавливается в состояние 1.

В состоянии T3 действия определяются типом машинного цикла. В цикле выборки микропроцессор интерпретирует код на ШД как байт кода операции, а в циклах чтения из памяти, записи в память, ввода и вывода информации осуществляется обмен данными.

Состояния T4 и T5 являются необязательными, т.к. используются для внутренних преобразований в микропроцессоре.

В конце каждого машинного цикла производятся три проверки. Если был установлен триггер HLDA, то предоставляется режим ПДП. Если данный машинный цикл является последним в цикле команды, то проверяется наличие сигналов INT=1 и разрешения прерываний INTE=1. При наличии обоих сигналов устанавливается триггер INTA.



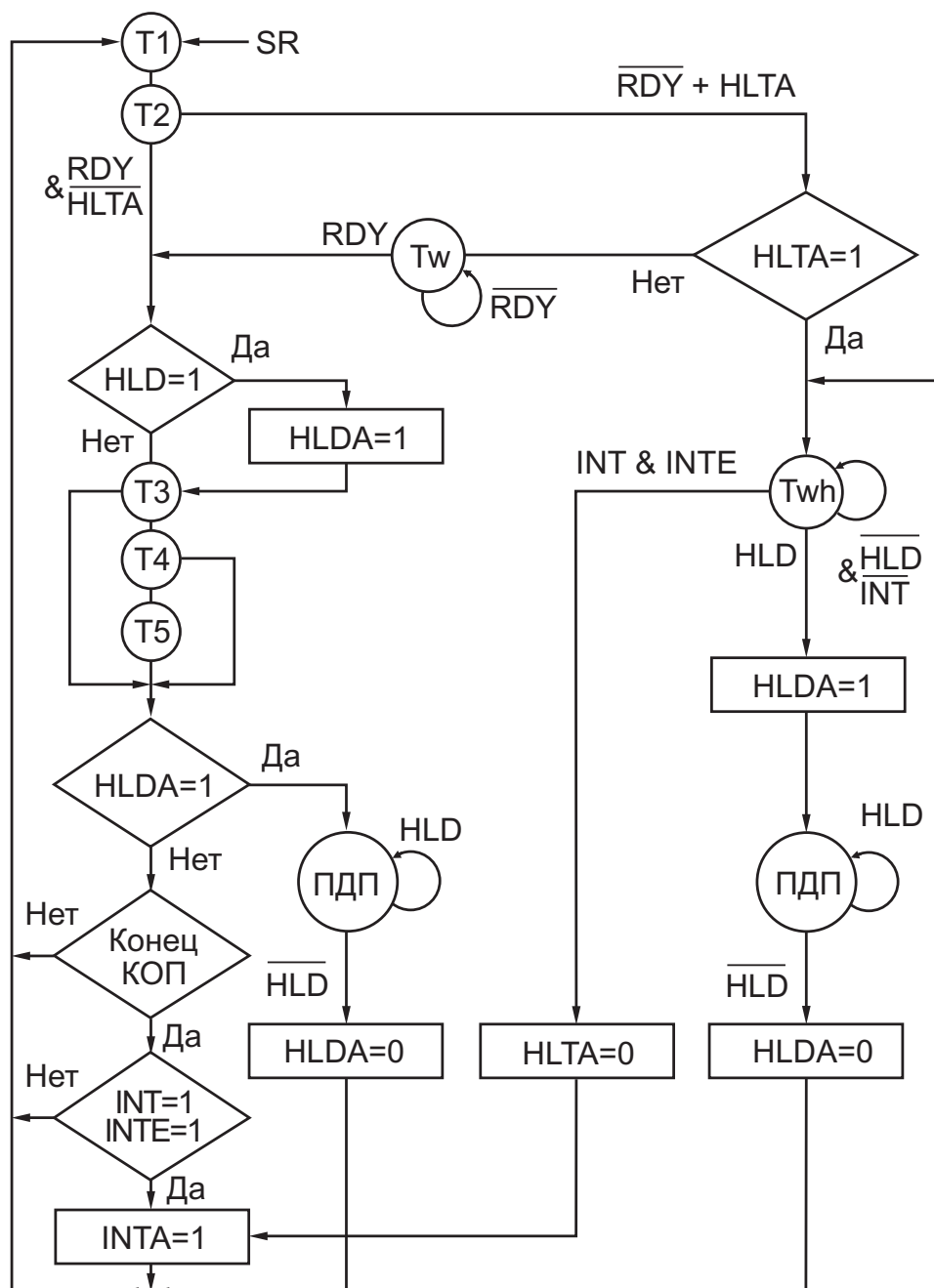


Рис. 3.5. Алгоритм работы первичного управляющего автомата

При установленном триггере INTA следующий машинный цикл будет M8 – машинный цикл прерывания.

Из диаграммы (см. рис. 3.5) видно, что сигнал RDY является наиболее приоритетным внешним сигналом. Следующим по уменьшению приоритета является сигнал HLD, который проверяется в каждом машинном цикле. Режим ПДП может быть предоставлен по завершении любого машинного цикла. Наиболее низкий приоритет у сигнала INT. Проверка этого сигнала производится только в конце командного цикла, и при INTE=1 прерывание может быть подтверждено только по завершении текущей команды.

В качестве примера рассмотрим командный цикл выполнения операции `IN PORT` ввода данных из порта с адресом `PORT`. Данная команда содержит два байта: первый байт – код операции, второй байт – адрес порта. Командный цикл (рис. 3.6) состоит из трех машинных

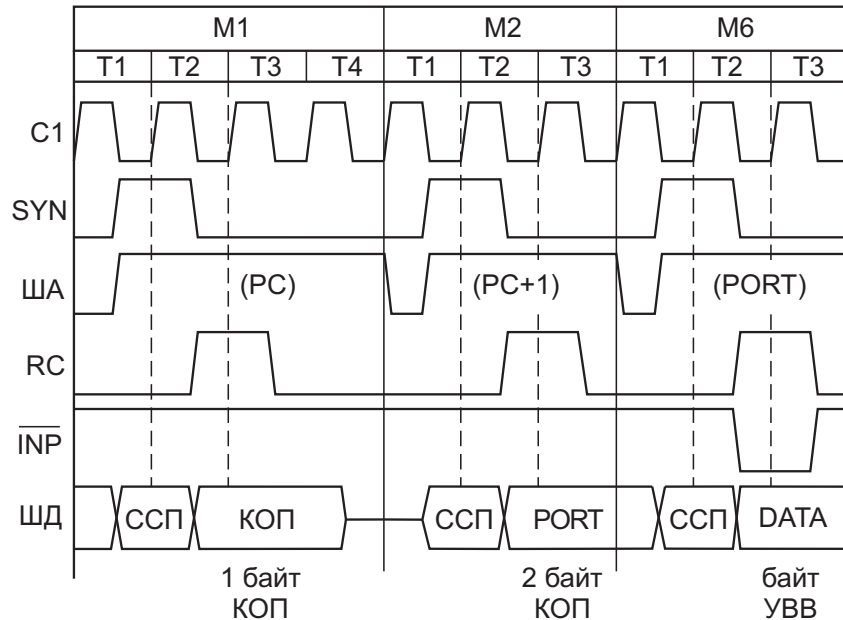


Рис. 3.6. Выполнение команды `IN PORT`

циклов и занимает 10 машинных тактов. Результатом выполнения команды является пересылка байта данных (`DATA`) из порта в аккумулятор. В первом машинном цикле (`M1`) производится выборка кода операции из основной памяти. Машинный такт `T4` предназначен для декодирования `КОП`. В результате декодирования определяется, в частности, что команда содержит второй байт. Для его чтения предназначен второй машинный цикл (`M2`). Второй байт команды представляет собой адрес порта ввода (`PORT`). В третьем машинном цикле (`M6`) на адресную шину выставляется адрес порта (`PORT`) и выполняется ввод данных из адресуемого порта.

### Работа управляющего автомата в режиме прерывания

Периферийное устройство инициирует прерывания путем формирования единичного уровня на входе `INT` микропроцессора. Сигнал запроса прерывания может возникнуть в любой момент времени, в любом машинном цикле команды. Из диаграммы переходов (см. рис. 3.5) видно, что текущая команда сначала завершится и только после этого микропроцессор переходит к машинному циклу подтверждения прерывания, который имеет ряд отличий от цикла выборки команды. Во-первых, в слове состояния дополнительно к признаку машинного цикла выборки кода операции содержится признак `INTA`, подтверждающий, что сигнал прерываний воспринят микропроцессором. Во-

вторых, счетчик команд не инкрементируется в данном цикле, т.к. увеличенный на единицу после выборки предыдущей команды он должен быть запомнен в стеке без изменения. В-третьих, вместо команды из памяти программ на шину данных передается вектор прерываний.

На рис. 3.7 показана работа системы прерываний с использованием вектора прерываний в виде однобайтной команды RST N. Сигнал запроса прерываний фиксируется в триггере INTA (диаграмма 10) лишь при одновременном выполнении трех условий: единичный уровень сигнала окончания командного цикла и возврата к машинному ци-

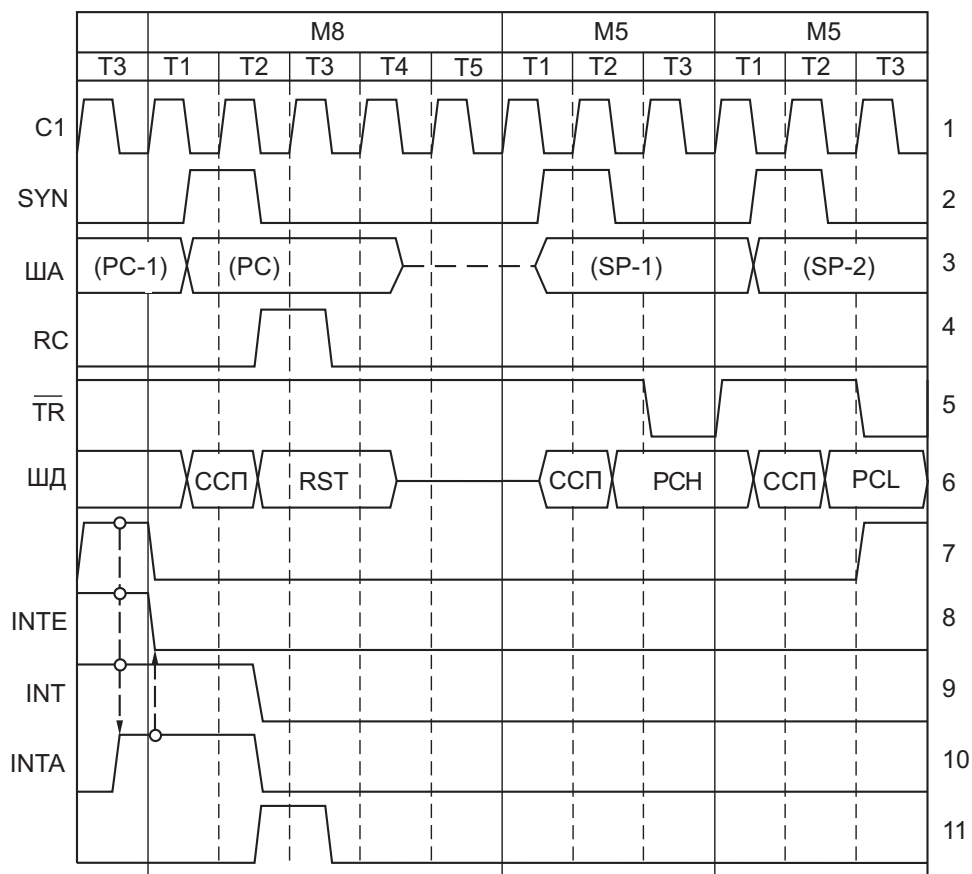


Рис. 3.7. Работа управляющего автомата в режиме прерываний

клу M1 (диаграмма 7), единичный уровень триггера разрешения прерываний INTE (диаграмма 8) и единичный уровень сигнала запроса прерывания INT (диаграмма 9). При INTA=1 следующий машинный цикл будет не M1, а M8 – машинный цикл обработки прерывания.

В микропроцессорной системе типовой конфигурации машинный цикл M8 имеет следующие особенности:

- из-за наличия внутреннего сигнала запрета (диаграмма 11) счетчик команд PC не инкрементируется;
- сигнал чтения памяти  $\overline{MEMR}$  при RC=1 не формируется, т.к. в слове состояния машинного цикла M8 бит MEMR=0 (см. рис. 3.4);
- код операции на ШД выставляется контроллером периферийного устройства, а не памятью программ;

- триггер разрешения прерываний сбрасывается ( $INTE=0$ ), т.е. прекращается обслуживание других прерываний;
- триггер  $INTA$  сбрасывается после формирования слова состояния с битом  $d_0=1$  ( $INTA$ ).

Следующие два машинных цикла имеют тип M5 – запись в стек. Они служат для сохранения точки возврата (содержимое счетчика команд записывается в стек) и загрузки в PC адреса подпрограммы обслуживания прерываний, сформированного из вектора прерывания. Завершение процесса входа в режим прерывания фиксируется внутренним сигналом возврата к машинному циклу M1 (диаграмма 7).

В следующем машинном цикле M1 будет происходить выборка кода первой команды подпрограммы обслуживания прерывания. Отметим, что при самых благоприятных условиях процесс входа в режим прерываний занял 12 машинных тактов. При тактовой частоте 2 МГц это составит 6 мкс.

#### 3.1.4. Система команд i8080

Программистская модель включает в себя совокупность программно-доступных узлов микропроцессора. В i8080 программно-доступными являются следующие узлы:

- 1) регистры однобайтовые (B, C, D, E, H, L, A, F);
- 2) регистры двухбайтовые (SP, PC) и пары регистров (BC, DE, HL);
- 3) общее адресное пространство памяти программ и данных. Формат адреса основной памяти – 2 байта;
- 4) адресное пространство устройств ввода-вывода. Формат адреса устройства ввода - вывода – 1 байт.

Для доступа к этим узлам поддерживаются пять видов адресации операндов:

1) *неявная* (подразумеваемая) адресация. В этом случае адрес фиксирован на микрокомандном уровне. Программист не имеет средств для его модификации.

2) *регистровая* адресация. Операнд или оба операнда хранятся в регистрах микропроцессора. Для доступа к регистрам используют короткие двух- и трехбитовые адреса для внутреннего доступа (табл. 3.2).

3) *непосредственная* адресация. Данные (непосредственный операнд) размещены в памяти программ следом за кодом соответствующей операции. Формат непосредственного операнда – 1 или 2 байта.

4) *прямая* адресация. Адрес операнда (1 или 2 байта) размещен в памяти программ следом за кодом соответствующей операции.

5) *косвенная* адресация. Адрес операнда размещен в специальном двухбайтовом регистре (регистр косвенного адреса). В качестве регистров косвенного адреса в i8080 обычно выступает пара регистров

HL. Некоторые команды (LDAX, STAX) позволяют для косвенного адреса использовать регистры BC и DE.

Таблица 3.2. Адреса регистров i8080

| Регистры |     |     |     |     |     |     |     | Пары регистров |    |    |    |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|----|----|----|
| B        | C   | D   | E   | H   | L   | M   | A   | BC             | DE | HL | SP |
| 000      | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 | 00             | 01 | 10 | 11 |

Все множество команд микропроцессора i8080 можно подразделить на 5 групп (прил. 1):

1) команды пересылки данных, обеспечивающие пересылку данных между регистрами или памятью и регистрами. Команды данной группы не формируют признаков результатов операций;

2) арифметические команды, обеспечивающие выполнение операций сложения и вычитания, инкремента и декремента. Один операнд для бинарных операций хранится в аккумуляторе, другой – в регистре или ячейке памяти. Результат помещается в аккумулятор. Система команд не содержит операций умножения и деления – их необходимо выполнять программным путем с помощью подпрограмм. Отрицательные числа при выполнении арифметических операций необходимо преобразовывать в дополнительный код;

3) логические команды реализуют операции логического сложения и умножения, исключающего ИЛИ, инвертирования, левого и правого сдвигов и некоторые другие. Исходные операнды хранятся в регистрах или ячейках памяти, а результат размещается в аккумуляторе;

4) команды передачи управления, в число которых входят команды безусловной и условной передачи управления, обращения и выхода из подпрограмм. Данные команды не формируют признаков результатов операций;

5) команды прочие, к которым отнесены команды ввода и вывода, обращения к стековой памяти. Кроме того, в эту группу входит ряд команд для управления работой микропроцессора.

По формату команды бывают одно-, двух- и трехбайтовые. Первый байт всегда содержит код операции, далее идут один или два байта, содержащие непосредственный операнд или адрес.

Возможные типы структуры первого байта команды представлены на рис. 3.8. В структурах использованы следующие условные обозначения: SSS – трехбитовый адрес регистра-источника; DDD – трехбитовый адрес регистра-приемника; rp – двухбитовый адрес пары регистров; NNN – трехбитовый номер вектора прерывания; CCC – трехбитовый код условия передачи управления. Заштрихованные биты

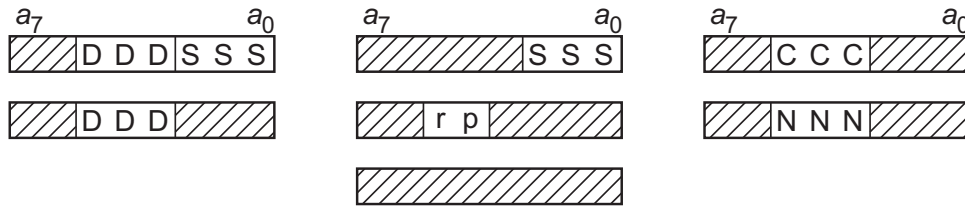


Рис. 3.8. Типы организации структуры первого байта команды

(рис. 3.8) соответствуют неструктурированной части кода операции. В табл. 3.3 приведены трехбитовые коды условий передачи управления (ССС). В системе команд i8080 используется 8 условий передачи управления по состоянию 4 флагов регистра признаков: нуля (Z), переноса (C), четности (P) и знака (S). Коды соответствуют установленным или сброшенным значениям этих флагов. В мнемоническом обозначении

Таблица 3.3. Коды условий передачи управления

| Категория | Поле cond |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | NZ        | Z   | NC  | C   | PO  | PE  | P   | M   |
| Код ссс   | 000       | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
| Признак   | Z=0       | Z=1 | C=0 | C=1 | P=0 | P=1 | S=0 | S=1 |

нии кодов условий используют символические обозначения флагов, а также буквы: **N** (Non), **O** (Odd, нечетный), **E** (Even, четный), **P** (Plus) и **M** (Minus). Буквенные коды используют для подстановки в поле cond команд передачи управления по условию. Так, вместо Jcond получают восемь команд: JNZ, JZ, JNC, ..., JM.

### 3.2. Микропроцессор i8085

Микропроцессор i8085 – 8-битный микропроцессор, выпущенный компанией Intel в марте 1976 года. Представляет собой усовершенствованную версию процессора Intel 8080. Данный микропроцессор производится по 3-мкм технологии, это позволило уместить на кристалл, по площади равный кристаллу i8080, 6500 транзисторов. Кроме этого, данный процессор работает от единственного источника питания с напряжением +5 В, в результате чего он и получил в конце названия цифру “5” — 8085. Тактовая частота оригинального процессора i8085/i8085A/i8085AH составляла 2 МГц, были также выпущены модели с частотами 6 МГц (модель i8085A(H)-1) и 5 МГц (модель i8085A(H)-2). На кристалле нового микропроцессора располагались

также генератор синхронизации и контроллер приоритетных прерываний, позволяющий обслуживать прерывания с 4 дополнительных входов запросов прерываний. В микропроцессор i8085 были добавлены две новые команды для управления прерываниями. Система команд содержит 79 инструкций. Корпус микропроцессора i8085 такой же, как и у i8080: 40-контактный керамический или пластмассовый DIP-40.

Несмотря на многолетний возраст, этот микропроцессор продолжает выпускаться промышленностью и присутствует в каталогах ведущих фирм. Областью его применения являются системы автоматического управления аппаратурой и системы электронного взвешивания и вычисления цены товара. Отечественным аналогом i8085 является БИС K1821BM85A.

#### 3.2.1. Структурная схема микропроцессора

Структурная схема микропроцессора i8085 показана на рис. 3.9. Микропроцессор имеет восьмиразрядную (внутреннюю) шину данных, через которую функциональные узлы обмениваются информацией. На схеме приняты следующие обозначения: Буфер адреса (БА) с тремя состояниями выхода выдает на линии адресной шины  $A_{15} \dots A_8$  старший байт адреса.

Буфер шины AD (БАД) с тремя состояниями выдает на шину AD с разделением во времени младший байт адреса или выдает/принимает байт данных.

Микропроцессор i8085 имеет 8 машинных циклов:

- 1) выборка команды (OF, Open Fetch);
- 2) Чтение памяти (MR, Memory Read);
- 3) запись в память (MW, Memory Write);
- 4) ввод данных (IOR, Input-Output Read);
- 5) вывод данных (IOW, Input-Output Write);
- 6) подтверждение прерывания (INA, Interrupt Acknowledge);
- 7) освобождение шин (BI, Bus Idle);
- 8) останов (HALT).

Вместо слова состояния в начале каждого машинного цикла формируются сигналы состояния ( $S_1, S_0$ ), идентифицирующие тип цикла и действующие в течение всего цикла. Машинный цикл микропроцессора i8085 содержит от 3 до 6 машинных тактов. В командном цикле может содержаться от 4 до 18 тактов.

Функции выводов и сигналов:

$A_{15} \dots A_8$  – выходные линии с тремя состояниями для выдачи старшего байта адреса памяти или полного байта адреса УВВ. Переходят в третье состояние в режимах HOLD, HALT и RESET;

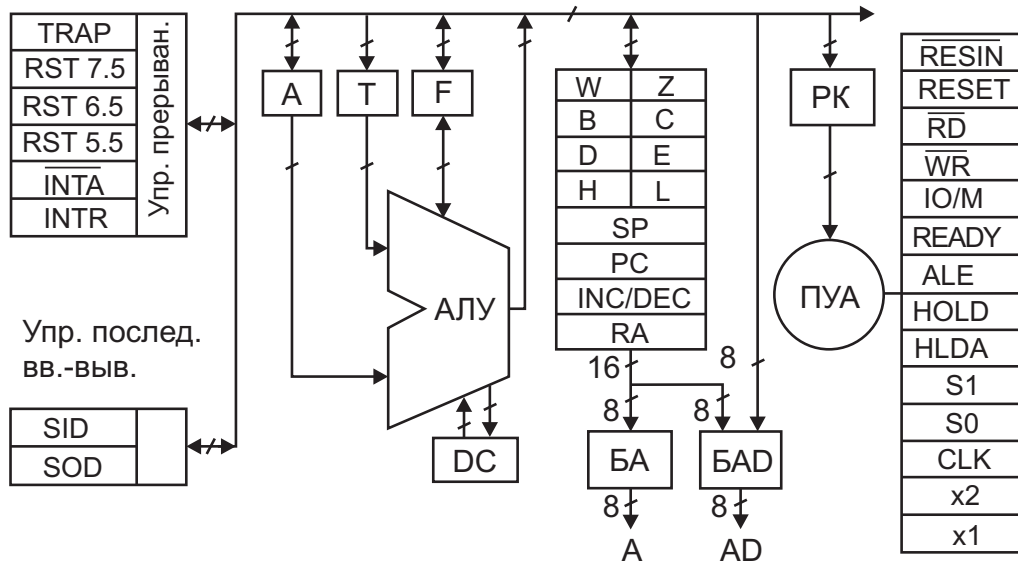


Рис. 3.9. Структурная схема микропроцессора i8085

- $A_7 \dots A_0$  – двунаправленная мультиплексированная шина с тремя состояниями для выдачи младшего байта адреса памяти или полного адреса  $UBB$  в первом машинном такте машинного цикла, после чего используются как ШД. При адресации  $UBB$  адресная информация обеих полушин дублируется;
- ALE** – строб разрешения загрузки младшего байта адреса памяти во внешний регистр для его хранения в течение машинного цикла. Появляется в первом такте машинного цикла. Регистр загружается задним фронтом сигнала **ALE**;
- $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$**  – стробы чтения и записи. Низкий уровень соответствующего сигнала свидетельствует о том, что адресованная ячейка памяти или  $UBB$  должны выполнить операцию чтения или записи (ввода или вывода). Переходят в третье состояние в режимах **HOLD**, **HALT** и **RESET**;
- READY** – вход сигнала готовности внешнего устройства;
- $S_1, S_0$  – сигналы состояния микропроцессора. Формируются в начале и сохраняются во время всего машинного цикла;
- IO/M** – сигнал выбора памяти или  $UBB$ . При высоком уровне происходит обращение к  $UBB$ , при низком – к памяти. Совместно с сигналами  $S_1$  и  $S_0$  сигнал **IO/M** идентифицирует тип машинного цикла (табл. 3.4);
- $x_1$  и  $x_2$  – эти выходы присоединяются к частотно-задающим (хронизирующим) цепям для обеспечения работы внутреннего тактового генератора микропроцессора. Частота на выводах  $x_1$  и  $x_2$  в два раза выше рабочей частоты;
- $\overline{RESIN}$**  – вход сигнала сброса микропроцессора;
- CLK** – выход синхроимпульсов для синхронизации микропроцессор-



ной системы. Частота CLK в два раза ниже частоты на ножках  $x_1$  и  $x_2$ ;

**RESET** – выходной сигнал сброса для внешних модулей системы, привязан к тактовым импульсам CLK и отличается от  $\overline{RESIN}$  по фазе;

**INTR** – (Interrupt Request) – вход запроса векторного прерывания, вызывающий генерацию stroba INTA, если прерывание разрешено программой. Адрес подпрограммы (вектор прерывания) выдается контроллером внешнего устройства. При сбросе прием сигнала запрещен;

**INTA** – (Interrupt Acknowledge) – выход stroba подтверждения векторного прерывания после завершения текущего командного цикла. Используется для чтения вектора прерывания;

**RST 5.5; RST 6.5; RST 7.5** – входы запросов радиального прерывания типа RST n ( $n = 5.5; 6.5; 7.5$ ). Начальные адреса подпрограмм обслуживания прерываний равны  $8 \times n$ . Приоритеты фиксированы, высший приоритет у входа 7.5. Приоритеты всей группы запросов выше приоритета запроса INTR. Запросы маскируемые, причем независимо друг от друга;

**TRAP** – вход запроса немаскируемого прерывания, имеющий максимальный приоритет;

**SID, SOD** – (Serial Input Data, Serial Output Data) – вход и выход последовательной передачи данных. По команде RIM входной бит загружается в старший бит аккумулятора, по команде SIM – выводится из этого разряда;

**HOLD** – вход сигнала требования ПДП;

**HLDA** – выход сигнала подтверждения ПДП.

Таблица 3.4. Сигналы состояния и управления

| Тип<br>МЦ | Сигналы состояния |       |       | Сигналы управления |                 |                   |
|-----------|-------------------|-------|-------|--------------------|-----------------|-------------------|
|           | IO/M              | $S_1$ | $S_0$ | $\overline{RD}$    | $\overline{WR}$ | $\overline{INTA}$ |
| OF        | 0                 | 1     | 1     | 0                  | 1               | 1                 |
| MR        | 0                 | 1     | 0     | 0                  | 1               | 1                 |
| MW        | 0                 | 0     | 1     | 1                  | 0               | 1                 |
| IOR       | 1                 | 1     | 0     | 0                  | 1               | 1                 |
| IOW       | 1                 | 0     | 1     | 1                  | 0               | 1                 |
| INA       | 1                 | 1     | 1     | 1                  | 1               | 0                 |
| BI        | TC                | *     | *     | 1                  | 1               | 1                 |
| HALT      | TC                | 0     | 0     | TC                 | TC              | 1                 |

**Примечание.** TC – третье состояние; \* – любое состояние.

## 3.2.2. Система прерываний

В системе прерываний i8085 имеется пять входов для запросов прерывания (INTR, RST 5.5; RST 6.5; RST 7.5; TRAP). В табл. 3.5 приведены основные характеристики этих прерываний. Четыре линии пре-

Таблица 3.5. Параметры системы прерываний i8085

| Прерывание | Вход   | Вектор  | Приоритет | Примечание    |
|------------|--------|---------|-----------|---------------|
| TRAP       | Стат.  | 24H     | 0         | Немаскируемое |
| RST 7.5    | Динам. | 3CH     | 1         | Маскируемое   |
| RST 6.5    | Стат.  | 34H     | 2         | Маскируемое   |
| RST 5.5    | Стат.  | 2CH     | 3         | Маскируемое   |
| INTR       | Стат.  | Внешний | 4         | Маскируемое   |

рываний имеют фиксированные векторы прерываний. Прерывание INTR должно ввести в действие команду CALL, код которой (вектор прерывания) формирует внешнее устройство. Вектор прерывания в этом случае загружается из контроллера внешнего устройства по стробу подтверждения прерывания INTA.

При организации прерываний решаются задачи маскирования запросов и установления уровней приоритетов. *Маскирование* состоит в запрещении действия соответствующего входа. Входы запросов могут быть маскируемыми или немаскируемыми, т.е. принимаемыми всегда.

Вход TRAP является немаскируемым и имеет наивысший приоритет. Он не может быть запрещен командами программы. К этому входу подключают сигналы, оповещающие о наиболее важных событиях в микропроцессорной системе, появление которых требует безусловной реакции.

Прерывания по входам INTR RST 5.5, RST 6.5 и RST 7.5 являются маскируемыми, т.е. могут быть разрешены командой EI или запрещены командой DI. Эти команды действуют на все четыре входа одновременно. Начальный сброс запрещает обслуживание этих запросов. Для разрешения маскируемых прерываний необходимо выполнить команду EI.

Для отдельного маскирования запросов RST n в системе команд i8085 имеются две специальные команды SIM (Set Interrupt Mask) и RIM (Reset Interrupt Mask). Вход RST 7.5 является динамическим, реагирует на положительный фронт сигнала, а остальные входы – статические, реагируют на уровень сигнала. Запрос RST 7.5 фиксируется триггером с динамическим входом, после снятия сигнала запрос не сбрасывается и сохраняется, пока не будет обработано прерывание или до команды SIM, или RESET.

Во время обработки прерываний, пока не выполнится команда EI, запрещаются другие прерывания кроме TRAP. Немаскируемое прерывание TRAP блокирует другие прерывания, но сохраняет состояние разрешения уже поступившего сигнала прерывания.

### 3.2.3. Последовательный ввод-вывод

Микропроцессор имеет два вывода для передачи и приема последовательных данных: SOD (Serial Output Data) и SID (Serial Input Data).

Вывод SOD управляется командой SIM, а сигнал с вывода SID считывается командой RIM. Эти команды упоминались ранее как команды установки и сброса масок для входов прерываний RST n, они же используются и для управления последовательным вводом-выводом.

До выполнения команды SIM в аккумуляторе необходимо сформировать слово, биты которого интерпретируются согласно табл. 3.6: SOD – последовательный вывод данных; SOE (Serial Input Enable) – сигнал, единичное значение которого передает последовательные

Таблица 3.6. Спецификация битов при выполнении команд SIM и RIM

| Биты аккумулятора |      |      |      |     |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 7                 | 6    | 5    | 4    | 3   | 2    | 1    | 0    |
| SOD               | SJE  | X    | R7.5 | MSE | M7.5 | M6.5 | M5.5 |
| SID               | I7.5 | I6.5 | I5.5 | IE  | M7.5 | M6.5 | M5.5 |

данные SOD на одноименный вывод микропроцессора; бит 5 не используется; R7.5 сбрасывает вход RST7.5 (напомним, что сигнал по этому входу принимается триггером с динамическим управлением); MSE (Mask Set Enable) – сигнал, активное состояние которого разрешает действие битов 2...0, биты M7.5...M5.5 маскируют запросы RST7.5...RST5.5, если соответствующий бит имеет единичное значение.

Например, установка SOD=1, разрешение RST6.5, сброс триггера RST7.5 и маскирование RST7.3 и RST 5.5 будут выполнены двумя командами по программе

```
MVI A,11011101b ; установка битов аккумулятора
SIM ; изменение масок и бита SOD
```

Для ввода последовательных данных через контакт SID используется команда RIM, обеспечивающая ввод последовательных данных и чтение масок прерывания. После выполнения команды RIM в аккумуляторе фиксируется слово согласно табл. 3.6: SID – последовательные

данные ввода через контакт SID; I7.5, I6.5 и I5.5 – логические уровни на выводах RST7.5, RST6.5 и RST5.5 соответственно; IE – сигнал разрешения прерывания; M7.5, M6.5 и M5.5 – логические уровни масок.

Биты I7.5, I6.5 и I5.5 индицируют уровни во время выполнения команды RIM. Бит IE показывает, какая из команд (EI или DI) выполнялась последней, на него также влияет наличие в данное время режима прерывания, поскольку режим прерывания сопровождается сбросом триггера IE, запрещая другие прерывания. Биты M7.5, M6.5 и M5.5 индицируют текущее состояние масок прерывания.

### 3.3. Микропроцессор i8086

Микропроцессор i8086 относится к классу 16-разрядных микропроцессоров первого поколения. Среди других микропроцессоров этого класса отметим i8088, i80186 и i80188.

Однокристалльный шестнадцатиразрядный микропроцессор Intel 8086 появился в 1978 г. Он размещен на кристалле с геометрическими размерами  $5.5 \times 5.5$  мм<sup>2</sup>, который помещен в корпус с 40 выводами типа DIP-40. БИС i8086 содержит около 29 тыс. транзисторов и потребляет 1.7 Вт от источника питания +5 В. Тактовая частота 4.77...10 МГц. На территории бывшего СССР этот микропроцессор под названием КМ1810ВМ86 выпускался с 1988 г. различными предприятиями: “Квантор” (с 1990 г.), “Родон” (с 1991 г.), “Квазар” (с 1992 г.) и др.

Микропроцессор выполняет операции над 8- и 16-разрядными данными, представленными в двоичном или двоично-десятичном коде, может обрабатывать отдельные биты, а также строки (цепочки) или массивы данных. Он имеет встроенные аппаратные средства умножения и деления.

Микропроцессор имеет внутреннее сверхоперативное запоминающее устройство емкостью 14 шестнадцатиразрядных регистров. Шина адреса является 20-разрядной, что позволяет непосредственно адресовать 1 М ячеек памяти.

Пространство адресов УВВ составляет 64 К. В БИС i8086 реализована многоуровневая векторная система прерываний с количеством векторов до 256. Предусмотрена организация режима ПДП.

Особенностью микропроцессора i8086 является возможность частичной реконфигурации аппаратной части для обеспечения работы в двух режимах – минимальном и максимальном. Режимы работы задаются аппаратно. В минимальном режиме, используемом для построения однопроцессорных систем, микропроцессор самостоятельно формирует все сигналы управления внутренним системным интерфейсом. В максимальном режиме, используемом для построения многопроцессорных систем, микропроцессор формирует на линиях состоя-

ния двоичный код, который зависит от типа цикла шины. В соответствии с этим кодом системный контроллер (например, i8288) формирует сигналы управления шиной. Контакты, которые высвободились в результате кодирования информации, используются для управления мультипроцессорным режимом. При использовании математического сопроцессора i8087 необходимо выбирать максимальный режим.

Среднее время выполнения команды занимает 12 тактов. Микропроцессор i8086 унаследовал большую часть системы команд i8080. Все современные процессоры в обязательном порядке поддерживают набор команд процессора i8086, обеспечивая совместимость “снизу-вверх”.

### 3.3.1. Структурная схема микропроцессора

В микропроцессоре i8086 применена конвейерная архитектура, которая позволяет совмещать во времени циклы выполнения и выборки из памяти кода следующих команд. Это достигается параллельной работой двух сравнительно независимых устройств – операционного устройства и устройства управления каналом (УУК). Структурная схема i8086 приведена на рис. 3.10. Операционное устройство выполняет команду, а устройство сопряжения с каналом осуществляет взаимодействие с внешней шиной – выставляет адреса, считывает коды команд и операнды, записывает данные в память или УВВ.

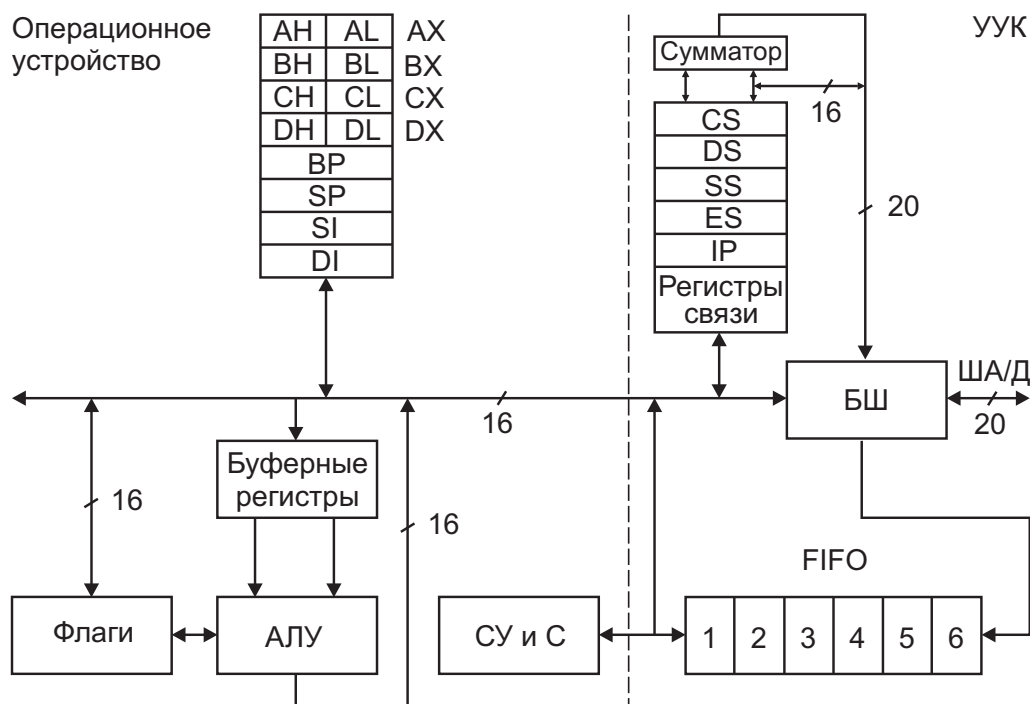


Рис. 3.10. Структурная схема микропроцессора i8086

Операционное устройство состоит из регистров общего назначения, предназначенных для хранения промежуточных результатов вычислений – данных и адресов; АЛУ с буферными регистрами; регистра флагов; схемы управления и синхронизации, которая декодирует коды команд и генерирует управляющие сигналы. Устройство управления каналом состоит из шестибайтной очереди (FIFO) команд, четырех сегментных регистров CS, DS, ES и SS, указателя команд IP, сумматора, а также вспомогательных регистров связи и буферных схем шин адреса/данных. Если операционное устройство занято выполнением команды, то устройство управления каналом самостоятельно инициирует опережающую выборку кодов команд из памяти в очередь команд. Выборка из памяти очередного командного слова осуществляется тогда, когда в очереди обнаруживаются два свободных байта. Очередь увеличивает быстродействие процессора в случае последовательного выполнения команд. При выборке команд переходов, запросов и возвратов из подпрограмм, обработки запросов прерываний очередь команд сбрасывается, и выборка начинается с нового места программной памяти. Еще одной задачей устройства управления каналом является формирование физического 20-разрядного адреса из двух 16-разрядных слов. Первым словом является содержимое одного из сегментных регистров CS, SS, DS или ES, а второе слово зависит от типа адресации операнда или кода команды. Суммирование 16-разрядных слов происходит со смещением на 4 разряда и осуществляется с помощью специального сумматора, который входит в состав устройства управления каналом.

### Назначение выводов

Условное графическое изображение микропроцессора приведено на рис. 3.11. Назначение контактов БИС зависит от режима работы. Восемь контактов имеют двойное обозначение, причем обозначения в скобках соответствуют максимальному режиму. В табл. 3.7 приведены назначения контактов, одинаковые для максимального и минимального режимов, в табл. 3.8 – назначение контактов, которые используются только в минимальном режиме, в табл. 3.9 – назначение контактов, которые используются только в максимальном режиме. Буквой *z* обозначены трехстабильные выходы, которые переводятся в высокоимпедансное состояние при переходе в режим ПДП.

**Линии состояния.** Линии ST2...ST0 – выходы сигналов состояния - идентифицируют тип цикла шины, который выполняется в соответствии с табл. 3.10.

**Циклом шины** называют обращение к ячейке памяти или внешнему устройству. Однако в 16-разрядных процессорах цикл шины может инициировать не только МП, но и арифметический сопроцессор или

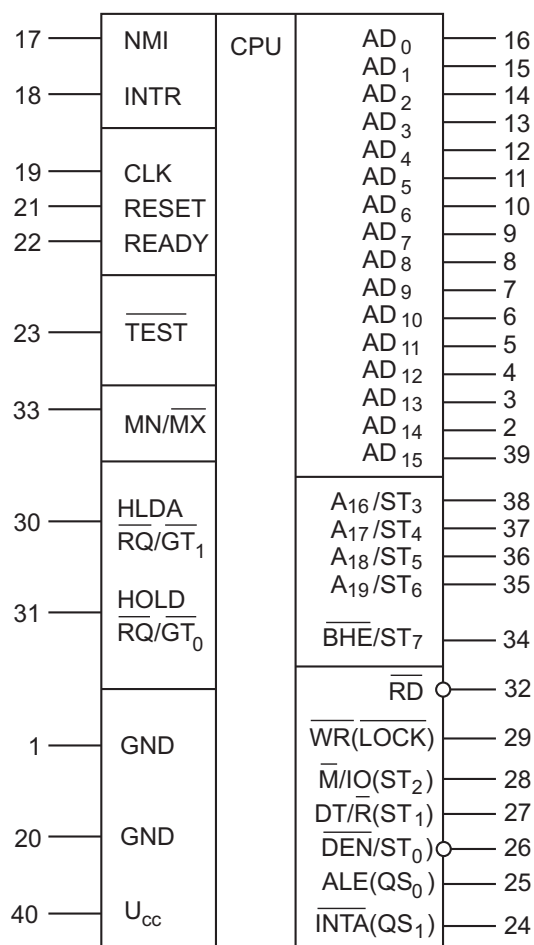


Рис. 3.11. Обозначение микропроцессора i8086 на принципиальной схеме

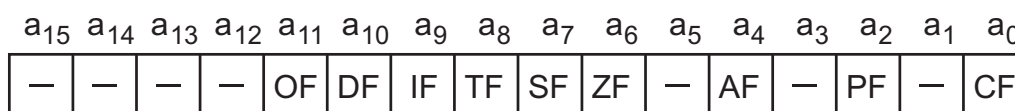


Рис. 3.12. Спецификация битов регистра признаков i8086

специализированный процессор ввода/вывода. Начало цикла определяется переходом линий состояния ST<sub>2</sub>–ST<sub>0</sub> из пассивного состояния (111) в активное, а конец – обратным переходом в пассивное состояние. Сигналы ST<sub>2</sub>–ST<sub>0</sub> подаются на входы контроллера шины i8288, который декодирует их и формирует сигналы управления системной шиной. Сигнал ST<sub>2</sub> является логическим эквивалентом сигнала M/IО, а сигнал ST<sub>1</sub> – эквивалентом сигнала DT/R. Сигналы ST<sub>4</sub>, ST<sub>3</sub> определяют, какой сегментный регистр используется в данном цикле (табл. 3.11). Сигналы ST<sub>4</sub> и ST<sub>3</sub> также могут использоваться для расширения адресного пространства системы. В этом случае отдельный банк памяти в 1 Мб выделяется любому из четырех сегментов.

Таблица 3.7: Назначение выводов i8086

| Вывод                | Назначение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Тип                   |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1                    | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3                     |
| AD15–A0              | Address/data – мультиплексная двунаправленная шина адреса/данных (ADB – Address Data Bus), по которой с разделением во времени передаются адреса и данные. Адреса передаются в первом такте цикла шины и сопровождаются сигналом ALE, а данные – во второй половине цикла шины и сопровождаются сигналом $\overline{DEN}$                                                                                                                                                                                                                                      | Вход/<br>выход<br>(z) |
| $\overline{BHE}/ST7$ | Byte High Enable/Status 7 – выходной сигнал разрешения старшего байта/сигнал состояния. В первом такте цикла одновременно с адресной информацией передается сигнал $\overline{BHE}$ . Активный (L) уровень $\overline{BHE}$ означает, что по старшей половине AD15-AD8 шины адреса/данных передаются 8-разрядные данные. Сигнал $\overline{BHE}$ используется для разрешения доступа к старшему банку памяти или к внешнему устройству с байтовой организацией, подключенному к старшей половине шины данных. В других тактах формируется сигнал состояния ST7 | Выход<br>(z)          |
| $\overline{RD}$      | Read – выходной сигнал чтения. Указывает на то, что микропроцессор выполняет цикл чтения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Выход<br>(z)          |
| READY                | Ready – входной сигнал готовности, подтверждающий, что ячейка памяти или устройство ввода/вывода, адресуемое в команде, готово к взаимодействию с МП при передаче данных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Вход                  |
| INTR                 | Interrupt Request – входной сигнал запроса (при N-уровне) маскированного прерывания. Если прерывания разрешены, МП переходит к подпрограмме обработки прерывания, в противном случае – игнорирует этот сигнал                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Вход                  |



Таблица 3.7: (Окончание)

| 1                          | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3    |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RESET                      | Reset (Clear) – сигнал аппаратного сброса (при Н-уровне). Переводит МП в начальное состояние, при котором сброшены сегментные регистры (кроме CS, все разряды которого устанавливаются в единичное состояние), указатель команд IP, все флаги, регистры очереди команд и все внутренние триггеры устройства управления. Сигнал RESET не влияет на состояние РОН. Во время действия сигнала RESET все выходы, имеющие три состояния, переводятся в высокоимпедансное состояние; выходы, которые имеют два состояния, становятся пассивными. Минимальная продолжительность сигнала RESET при первом включении МП составляет 50 мкс, а при повторном запуске – четыре такта синхронизации, т.е. 0.8 мкс при тактовой частоте 5 МГц. После окончания сигнала RESET начинается цикл выборки из памяти команды с адресом 0FFFFH:0000 | Вход |
| $\overline{\text{TEST}}$   | Test – входной сигнал проверки. Сигнал используется вместе с командой ожидания WAIT, выполняя которую МП проверяет уровень сигнала $\overline{\text{TEST}}$ . Если $\overline{\text{TEST}}=0$ , МП переходит к выполнению следующей после WAIT команды. Если $\overline{\text{TEST}}=1$ , МП находится в состоянии ожидания, выполняет холостые такты и периодически, с интервалом 5TCLK, проверяет значение сигнала $\overline{\text{TEST}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Вход |
| CLK                        | Clock – входные тактовые импульсы, обеспечивающие синхронизацию работы МП                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Вход |
| MN/ $\overline{\text{MX}}$ | Minimum/maximum – вход сигнала выбора минимального или максимального режима. Определяет режим работы МП: при 1 – минимальный, при 0 – максимальный                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Вход |

Таблица 3.8: Минимальный режим i8086

| Вывод             | Назначение                                                                                                                                                                                                                       | Тип       |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1                 | 2                                                                                                                                                                                                                                | 3         |
| INTA              | Interrupt Acknowledge – выходной сигнал подтверждения прерывания, определяющий чтение вектора прерывания                                                                                                                         | Выход     |
| ALE               | Address Latch Enable – выходной сигнал разрешения фиксации адреса; выдается в начале каждого цикла шины и используется для записи адреса в регистр-фиксатор                                                                      | Выход     |
| $\overline{DEN}$  | Data Enable – выходной сигнал разрешения данных, который определяет появление данных на шине адреса/данных                                                                                                                       | Выход (z) |
| $DT/\overline{R}$ | Data Transmit/Receive (Output-Input) – выходной сигнал передачи/приема данных; определяет направление передачи данных по ADB. Предназначен для управления шинными формирователями и действует на протяжении всего цикла шины     | Выход (z) |
| $M/\overline{IO}$ | Memory/Input-Output – выходной сигнал признака обращения к памяти ( $M/\overline{IO}=1$ ) или внешнему устройству ( $M/\overline{IO}=0$ ). Используется для распределения адресного пространства памяти и устройств ввода/вывода | Выход (z) |
| $\overline{WR}$   | Write – выходной сигнал записи. Указывает на то, что МП выполняет цикл записи в память или внешнее устройство, и сопровождает данные, которые выдаются МП на шину данных                                                         | Выход (z) |
| HOLD              | Hold – входной сигнал запроса захвата шин от внешнего устройства или контроллера прямого доступа к памяти                                                                                                                        | Вход      |
| HLDA              | Hold Acknowledge – выходной сигнал подтверждения захвата. Сигнал указывает на то, что МП перевел свои шины адреса/данных, адреса/состояния и управления в z-состояние                                                            | Выход     |

Таблица 3.9: Максимальный режим i8086

| Вывод                                                                                        | Назначение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Тип        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1                                                                                            | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3          |
| ST2–ST0                                                                                      | Выходные сигналы линий состояния. Характеризуют тип выполняемого цикла шины; используются для формирования управляющих сигналов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Выход (z)  |
| $\overline{\text{RQ}}/\overline{\text{GT}}0$<br>$\overline{\text{RQ}}/\overline{\text{GT}}1$ | Request/Grant (Request/Enable) – два входных/выходных сигнала запроса/предоставления локальной шины; используются для связи с другими процессорами, в частности с арифметическим сопроцессором. Линия $\overline{\text{RQ}}/\overline{\text{GT}}1$ имеет меньший приоритет                                                                                                                                                                                                                             | Вход/выход |
| LOCK                                                                                         | Lock – выходной сигнал блокировки (занятости) шины – сигнал монополизации управления шиной; формируется во время выполнения команды с префиксом LOCK и информирует другие процессоры и устройства о том, что они не должны запрашивать системную шину                                                                                                                                                                                                                                                  | Выход      |
| QS1, QS0                                                                                     | Queue Status – два выходных сигнала состояния очереди; идентифицируют состояние внутренней шестибайтной очереди команд и действуют на протяжении такта синхронизации после выполнения операции над очередью. Сигналы QS1, QS0 предназначены для сопроцессора, который контролирует шину адреса/данных, фиксирует момент выборки из памяти программ предназначенной для него команды с префиксом ESC, а после этого следит за очередью команд и определяет момент, когда эта команда должна выполняться | Выход      |

К выводам S4 и S3 подключают дешифратор, который выбирает соответствующий банк памяти. Такой прием обеспечивает расширение адресной памяти до 4 Мбайт и защиту от ошибочной записи в сегмент, который перекрывается с другими сегментами. Сигнал ST5 соответствует состоянию флага разрешения прерываний IF: '0' – прерывание

Таблица 3.10. Идентификация типа цикла шины

| Линии состояния |     |     | Тип цикла шины                                 |
|-----------------|-----|-----|------------------------------------------------|
| ST2             | ST1 | ST0 |                                                |
| 0               | 0   | 0   | Подтверждение прерывания ( $\overline{INTA}$ ) |
| 0               | 0   | 1   | Ввод (Чтение УВВ)                              |
| 0               | 1   | 0   | Вывод (Запись УВВ)                             |
| 0               | 1   | 1   | Останов                                        |
| 1               | 0   | 0   | Выборка кода операции                          |
| 1               | 0   | 1   | Чтение ЗУ                                      |
| 1               | 1   | 0   | Запись в ЗУ                                    |
| 1               | 1   | 1   | Нет цикла                                      |

Таблица 3.11. Идентификация сегментного регистра

| Линии состояния |     | Сегментный регистр          |
|-----------------|-----|-----------------------------|
| ST4             | ST3 |                             |
| 0               | 0   | ES – дополнительный сегмент |
| 0               | 1   | SS – сегмент стека          |
| 1               | 0   | CS – сегмент кода           |
| 1               | 1   | DS – сегмент данных         |

запрещено, '1' – прерывание разрешено. Сигналы ST6, ST7 не используются и зарезервированы для последующих моделей МП.

**Идентификация состояния очереди команд** осуществляется с помощью сигналов QS1, QS0 (табл. 3.9). Значение этих линий определяет операцию над очередью команд в соответствии с табл. 3.12.

**Линии запроса/предоставления локальной шины.** Двухнаправленные линии  $\overline{RQ/GT0}$ ,  $\overline{RQ/GT1}$  используются для передачи импульсных сигналов запроса/разрешения доступа к локальной шине (каналу). Процесс доступа к шине осуществляется в таком порядке: сначала устройство, которое подключено к локальной шине и требует доступа к общим ресурсам, формирует импульс продолжительностью один такт; после этого в конце текущего цикла МП выдает соответствующий импульс, подтверждающий возможность доступа к локальной шине. В следующем такте МП переводит шины адреса/данных и управления в высокоимпедансное состояние и отключается от канала. По окончании работы с каналом устройство выдает в ту же линию третий импульс, который указывает на окончание захвата канала. В следую-

Таблица 3.12. Идентификация состояния очереди команд

| QS1 | QS2 | Операция над очередью                                       |
|-----|-----|-------------------------------------------------------------|
| 0   | 0   | Операции нет, в последнем такте не было выборки из очереди  |
| 0   | 1   | Из очереди выбран первый байт команды                       |
| 1   | 0   | Очередь пуста; была опустошена командой передачи управления |
| 1   | 1   | Из очереди выбран следующий байт команды                    |

щем такте МП восстанавливает управление шиной и продолжает вычисления. Все три импульса имеют одинаковую продолжительность и низкий активный уровень. Сигналы на линиях независимы, однако при одновременном поступлении запросов линия  $\overline{RQ/GT0}$  имеет более высокий приоритет, чем линия  $\overline{RQ/GT1}$ . Любая из двух рассмотренных линий используется для установления режима захвата шин и эквивалентна паре HOLD и HLDA МП i8086 в минимальном режиме.

### 3.3.2. Организация памяти

Память представляет собой массив информационной емкостью 1 Мбайт, т.е.  $2^{20}$  восьмиразрядных ячеек. В памяти хранятся как байты, так и 16-разрядные слова. Слова располагаются в двух соседних ячейках памяти: старший байт хранится в ячейке со старшим адресом, младший – в ячейке с младшим адресом. Адресом слова считается адрес его младшего байта. Начальные (00000H–003FFH) и конечные адреса (FFFF0H–FFFFFH) зарезервированы для системы прерываний и начальной установки соответственно.

Организация памяти, при которой каждому адресу соответствует содержимое одной ячейки памяти, называется линейной. В МП i8086 используется сегментная организация памяти, которая характеризуется тем, что программно доступной является не вся память, а лишь некоторые сегменты, т.е. области памяти. Внутри сегмента используется линейная адресация.

Введение сегментной организации можно объяснить следующим образом. Микропроцессор i8086 представляет собой 16-разрядный процессор, т.е. имеет 16-разрядную внутреннюю шину, 16-разрядные регистры и сумматоры. Стремление разработчиков БИС адресовать по возможности больший массив памяти обусловило использование 20-разрядной шины данных. Для сравнения: 16-разрядная шина адреса разрешает адресовать  $2^{16}=64$  Кбайт; 20-разрядная –  $2^{20}=1$  Мбайт.

Для формирования 20-разрядного адреса в 16-разрядном процессоре используют информацию двух 16-разрядных регистров. В МП i8086 20-разрядный адрес формируется из двух 16-разрядных адресов, которые называют логическими. Первый логический адрес, дополненный справа четырьмя нулями, представляет собой начальный адрес сегмента емкостью 64 Кбайт. Второй логический адрес определяет смещение в сегменте, т.е. определяет расстояние от начала сегмента до адресованной ячейки. Если это расстояние равно 0000, то адресуется первая ячейка сегмента, если FFFFH – последняя. Таким образом, логическое адресное пространство разделено на блоки соседних адресов емкостью 64 Кбайт, т.е. сегменты.

Физический 20-разрядный адрес ячейки памяти формируется из двух 16-разрядных адресов – адреса сегмента Seg и исполнительного адреса EA (Executive Address), которые суммируются со смещением на четыре разряда (рис. 3.13).

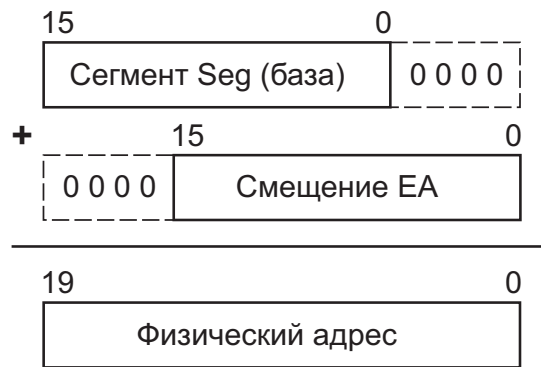


Рис. 3.13. Формирование физического адреса

Смещение адреса сегмента на четыре разряда влево эквивалентно его умножению на 16. Следовательно, физический адрес равняется  $16 \times \text{Seg} + \text{EA}$ . В качестве первого логического адреса (базы) Seg используется содержимое одного из четырех сегментных регистров: CS (Code Segment – сегмент кодов), DS (Data Segment – сегмент данных), ES (Extended Segment – дополнительный сегмент), SS (Stack Segment – сегмент стека). Второй логический адрес EA, или смещение, зависит от сегмента. Так, в сегменте кодов EA используется содержимое указателя команд IP, в сегментах данных значение EA зависит от средства адресации операнда, в сегменте стека для указания второго логического адреса используются регистры SP или BP.

Преобразование логических адресов в физические всегда однозначно, т.е. паре Seg и EA отвечает единственный физический адрес. Обратное преобразование не является однозначным. В дальнейшем будем обозначать физический адрес в виде Seg:EA, где вместо Seg и EA могут использоваться как обозначения регистров, так и 16-разрядные данные.

Емкость памяти 1 Мбайт, начиная с нулевого адреса, разбивается на параграфы по 16 байтов. Сегмент может начинаться только на границе параграфа, т.е. в адресе сегмента младшие четыре бита – нулевые. Размещение сегментов в памяти произвольное: они могут частично или полностью перекрываться либо не иметь общих областей.

Изменяя значения первого и второго логических адресов, можно адресовать любую ячейку из общей памяти емкостью 1 Мбайт. На рис. 3.14,*a* показано расположение в пространстве 1 Мбайт четырех

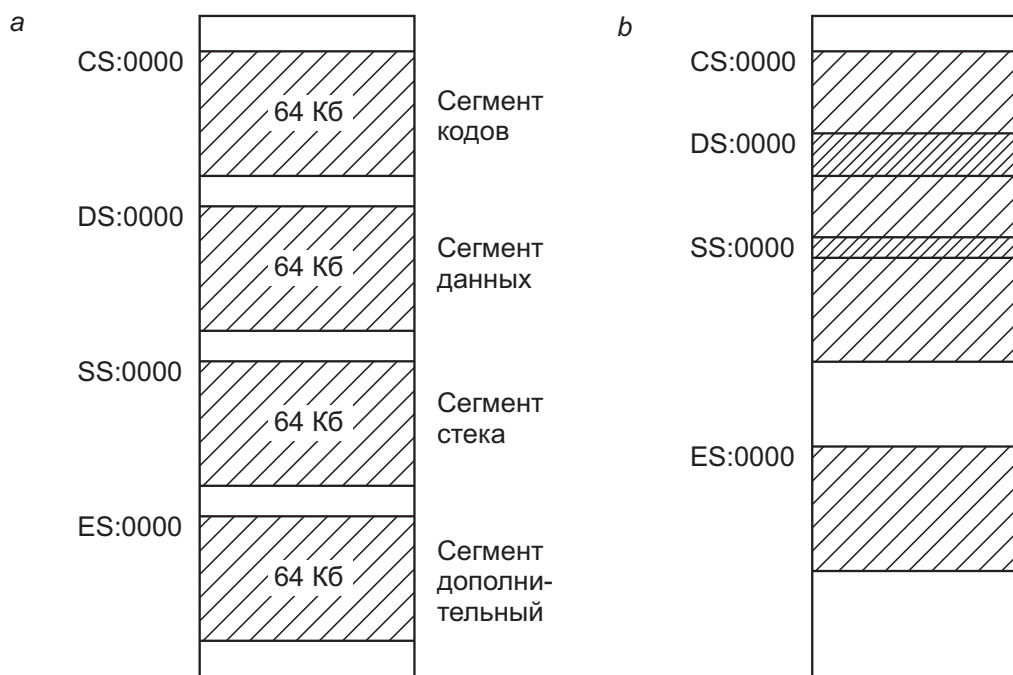


Рис. 3.14. Размещение сегментов в пространстве памяти 1 Мбайт: *a* – без перекрытия; *b* – с частичным перекрытием

сегментов по 64 Кбайт без перекрытия. Начальные адреса сегментов определяются содержимым 16-разрядных сегментных регистров, которые дополнены справа четырьмя нулевыми битами. Смещение в сегменте кодов определяется содержимым регистра IP, смещение в сегменте данных и дополнительном сегменте данных – эффективным адресом EA, который указывается в команде, смещение в сегменте стека – содержимым регистра SP.

В сегментах кодов расположены коды команд, т.е. программа в машинных кодах; в остальных сегментах – данные. Программа может обращаться только к данным в сегментах, которые обозначены на рис. 3.14 заштрихованными прямоугольниками.

Изменяя содержимое сегментных регистров, можно передвигать сегменты в границах всей памяти 1 Мбайт. На рис. 3.14,*b* показано расположение сегментов кодов, данных и стека с частичным перекрытием. Это происходит при различии содержимого сегментных регистров менее чем на  $64 \text{ Кбайт}/16 = 4 \text{ Кбайт}$ .

Регистр флагов (см. рис. 3.12) хранит признаки результатов выполнения арифметических и логических операций и управляющие признаки. Последние можно установить или сбросить программно. Типы флагов представлены в табл. 3.13.

**Циклы шины процессора.** На протяжении цикла шины МП выставляет адрес ячейки памяти или УВВ в шину адреса, формирует управляющие сигналы чтения/записи, а после этого считывает или записывает данные. Кроме циклов “Чтение” и “Запись” в память или УВВ, существуют циклы “Подтверждение прерывания” и “Захват шин”. Цикл шины может инициировать не только независимый процессор i8086, но и арифметический сопроцессор или сопроцессор ввода/вывода. Различают циклы шины в минимальном и максимальном режимах.

Циклы обращения к портам отличаются от циклов обращения к памяти тем, что старшие разряды шины адреса имеют нулевое значение (при косвенной адресации с помощью DX сигналы на линиях A19-A16 имеют L-уровень; при прямой адресации L-уровень приобретают сигналы на линиях A19-A8). На линиях в первом случае и A15-A0 и A7-A0 во втором – устанавливается адрес порта.

Цикл “Подтверждение прерывания” формируется аналогично циклу “Чтение” порта, но вместо активного сигнала IOR активным является сигнал  $\overline{INTA}$ , а шина адреса процессором не управляется.

### 3.3.3. Организация прерываний

Процессор i8086 может обрабатывать до 256 типов прерываний. Каждому прерыванию соответствует свой вектор – двойное слово, которое содержит адрес CS:IP вызываемой подпрограммы. Под векторы прерываний в общем пространстве адресов памяти отводится 1 Кбайт, начиная с нулевого адреса.

При переходе к подпрограмме обработки прерываний INT N (где N – тип прерывания) процессор перемещает в стек содержимое регистров IP, CS, регистра флагов F, сбрасывает флаг разрешения прерывания IF; вычисляет адрес  $4 \times N$ , первое слово по этому адресу перемещает в IP, а второе – в CS.

Сброс флага прерывания IF не разрешает прерывать выполнение подпрограммы обработки прерывания до ее завершения или выполнения команды разрешения STI. Последней командой подпрограммы обработки прерывания является команда IRET. По этой команде процессор выбирает из стека адрес возврата (адрес команды, следующей за командой INT) и содержимое регистра флагов.

Прерывания (табл. 3.14) делятся на внешние аппаратные и внутренние. Запросы прерываний IRQ (Interrupt Request) внешних аппаратных прерываний поступают в систему прерываний или на линию



Таблица 3.13. Спецификация битов регистра признаков

| Признак | Назначение                                                                                                                                                                                              | Операнд |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----|
|         |                                                                                                                                                                                                         | 8       | 16 |
| AF      | Auxiliary Flag – флаг вспомогательного переноса/заема из младшей тетрады в старшую (из разряда D3 в разряд D4). Используется в командах обработки двоично-десятичных чисел                              | +       | –  |
| CF      | Carry Flag – флаг переноса/заема. Устанавливается при выходе результата суммирования (вычитания) беззнаковых операндов за границу диапазона. В командах сдвига флаг CF фиксирует значение старшего бита | +       | +  |
| OF      | Overflow Flag – флаг переполнения, устанавливается при выходе знакового результата за границы диапазона                                                                                                 | +       | +  |
| SF      | Sign Flag – флаг знака. Дублирует значение старшего бита результата. SF = 0 для положительных чисел и SF = 1 – для отрицательных                                                                        | +       | +  |
| PF      | Parity Flag – флаг паритета (четности). Устанавливается при четном количестве единиц в результате                                                                                                       | +       | -  |
| ZF      | Zero Flag – флаг нулевого результата. Устанавливается при нулевом результате операции                                                                                                                   | +       | +  |
| DF      | Direction Flag – флаг управления направлением обработки строк. При DF = 1 индексные регистры SI, DI автоматически декрементируются на количество байтов операнда, при DF = 0 – инкрементируются         | -       | -  |
| IF      | Interrupt-enable Flag – флаг разрешения прерывания. При IF = 1 разрешается выполнение маскированных аппаратных прерываний                                                                               | -       | -  |
| TF      | Trap Flag – флаг трассировки (пошагового режима). При TF = 1 после выполнения каждой команды вызывается внутреннее прерывание INT 1                                                                     | -       | -  |

Таблица 3.14. Спецификация векторов прерываний

| Назначение                        | $N$      | Приоритет | Время вызова, МТ |
|-----------------------------------|----------|-----------|------------------|
| Прерывание по ошибке              | 0        | 1         | 50               |
| Пошаговое прерывание              | 1        | 4         | 50               |
| Немаскируемое прерывание          | 2        | 2         | 50               |
| Прерывание по точкам разрыва      | 3        | 1         | 52               |
| Прерывание по переполнению INTO   | 4        | 1         | 53               |
| Прерывание, опред. пользователем  | 5 – 31   | 1         | 51               |
| Маскируемые аппаратные прерывания | 32 – 255 | 3         | 61               |

немаскированного прерывания NMI МП. Система прерывания формирует сигнал INTR маскированного прерывания МП. Заметим, что маскированное прерывание отличается от немаскированного тем, что первое может быть запрещено программно – командой сброса флага разрешения прерываний IF. В этом случае при поступлении запросов прерывания они будут игнорироваться.

**Внутренние** прерывания процессора разделяют на программные и аппаратные (табл. 3.14). Источниками внутренних программных прерываний являются: ошибка деления (тип 0), пошаговый режим (тип 1), команда INTO (тип 4).

**Внутренние программные прерывания** INT N и INT 3 выполняются по команде прерывания и разрешают вызывать подпрограммы обработки прерываний (например, сервисные подпрограммы BIOS и DOS) без применения дальних вызовов подпрограмм. В отличие от INT N, прерывание INT 3 является однобайтной командой и обычно используется для передачи управления подпрограмме-отладчику. Выполнение программных прерываний не зависит от флага разрешения прерывания IF.

**Внутренние аппаратные прерывания** процессора возникают в следующих случаях:

- при делении на ноль (тип 0);
- при установленном флаге трассировки (тип 1). В этом случае прерывание происходит после выполнения каждой команды;
- после команды INTO (тип 4), если в регистре признаков установлен флаг переполнения OF.

Аппаратные прерывания возникают при активном уровне сигналов на выводах NMI (немаскированное прерывание – тип 2) и INTR (маскированные, типы 5–255). Маскированные прерывания выполняются

при установленном флаге  $IF$ . При переходе к подпрограмме обработки аппаратного прерывания процессор последовательно формирует два цикла подтверждения прерывания, в которых генерируется сигнал  $\overline{INTA}$ . После второго импульса  $\overline{INTA}$  контроллер прерываний передает по шине данных номер вектора прерывания  $N$ . Далее действия процессора аналогичны выполнению программного прерывания. Обработка текущего прерывания может быть прервана немаскированным прерыванием или другим маскированным прерыванием высшего приоритета в том случае, если подпрограмма-обработчик установит флаг разрешения прерывания  $IF$ . Немаскированное прерывание выполняется независимо от состояния флага  $IF$ .

#### 3.3.4. Организация системы команд i8086

##### Программная модель

Программная модель МП i8086 состоит из РОН, сегментных регистров, указателя команд и регистра флагов. Регистры общего назначения делятся на регистры данных и регистры-указатели. К регистрам данных относятся четыре 16-разрядных регистра:  $AX$ ,  $BX$ ,  $CX$ ,  $DX$ . Любой из этих регистров состоит из двух 8-разрядных регистров, которые можно независимо адресовать символическими именами  $AH$ ,  $BH$ ,  $CH$ ,  $DH$  (старшие байты – High) и  $AL$ ,  $BL$ ,  $CL$ ,  $DL$  (младшие байты – Low). Регистры-указатели  $SP$  (Stack Pointer, указатель стека),  $BP$  (Base Pointer, базовый регистр),  $SI$  (Source Index, индекс источника),  $DI$  (Destination Index, индекс назначения) являются 16-разрядными и предназначены, как правило, для хранения адресов операндов при косвенной адресации.

Все РОН можно использовать для хранения данных, но в некоторых командах допускается использование определенного регистра по умолчанию:  $AX$  – при умножении, делении, вводе и выводе слов;  $AL$  – при умножении, делении, вводе и выводе байтов, десятичной коррекции, преобразовании байтов (команда  $XLAT$ );  $AH$  – при умножении и делении байтов;  $BX$  – при трансляции;  $CX$  – как счетчик циклов и указатель длины строк в строчных командах;  $CL$  – для хранения числа сдвигов в командах;  $DX$  – при умножении и делении слов, вводе и выводе с косвенной адресацией;  $SP$  – при операциях со стеком;  $SI$ ,  $DI$  – при строковых операциях. В отличие от 8-разрядных МП, в регистре  $SP$  16-разрядных процессоров хранится смещение последней занятой ячейки стека относительно начала сегмента стека, а полный адрес стека определяется как  $SS:SP$ . Сегментные регистры  $CS$ ,  $DS$ ,  $ES$ ,  $SS$  определяют начальные адреса четырех сегментов памяти. Использование сегментных регистров определяется типом обращения к памяти (табл. 3.15). Для некоторых типов обращений допускается

Таблица 3.15. Использование регистров при адресации памяти

| Тип обращения к памяти                                   | Сегментный регистр |            | Смещение |
|----------------------------------------------------------|--------------------|------------|----------|
|                                                          | по-умолчанию       | явно       |          |
| Выборка команд                                           | CS                 | –          | IP       |
| Стековые операции                                        | SS                 | –          | SP       |
| Адресация переменной                                     | DS                 | CS, ES, SS | EA       |
| Строка-источник*                                         | DS                 | CS, ES, SS | SI       |
| Строка-приемник*                                         | ES                 | –          | DI       |
| Использование BP при обращении к стеку при чтении/записи | SS                 | CS, ES, SS | EA       |

\*Строки данных (массивы, цепочки), которые принимают участие в строковых командах.

замена сегментного регистра по умолчанию на альтернативный, что осуществляется с помощью префиксов CS:, DS:, SS:, ES:.

**Адресация портов ввода/вывода.** Пространство адресов портов ввода/вывода не сегментировано, занимает 64 Кбайт и адресуется 16 младшими разрядами 20-разрядной шины адреса. Порты могут быть как 8-, так и 16-разрядными. Любые два смежных 8-разрядных порта можно рассматривать как 16-разрядный порт аналогично слову в памяти. При этом для обмена с 8-разрядными портами используется регистр AL, а с 16-разрядными – регистр AX. Первые 256 портов (с номерами 0–0FFH) можно адресовать с помощью прямой адресации. Все 64 Кбайт портов адресуются косвенно – с помощью регистра DX.

**Типы адресации операндов.** В МП i8086 используются те же основные типы адресации (прямая, регистровая, непосредственная и косвенная), что и для 8-разрядных процессоров, однако косвенная адресация имеет следующие разновидности: базовая, индексная, базово-индексная.

**Базовая адресация.** Эффективный адрес операнда EA вычисляется суммированием содержимого базовых регистров BX или BP и смещения (8- или 16-разрядного знакового числа). В частном случае смещения может не быть.

**Индексная адресация.** При индексной адресации в качестве адреса смещения используется сумма содержимого индексных регистров SI или DI и смещения в виде числа.

**Базово-индексная адресация.** Эффективный адрес операнда EA равен сумме содержимого базовых регистров BX или BP, индексных

регистров SI или DI и смещения – некоторого числа, задаваемого в команде. Заметим, что числовое смещение может отсутствовать.

Базовая и индексная адресации применяются для обращения к элементам одномерного массива, базово-индексная – к элементам двумерного массива.

### Структура и форматы команд

Система команд микропроцессора i8086 содержит 135 базовых команд (91 мнемокод). Форматы команд составляют от 1 до 6 байтов. Максимальная длина команды соответствует глубине очереди команд FIFO микропроцессора. Общая структура команд представлена на рис. 3.15. Звездочкой отмечены байты, которые могут отсутствовать в составе команды. Байт кода операции КОП является обязательным и присутствует в каждой команде. В байте КОП выделены два одно-

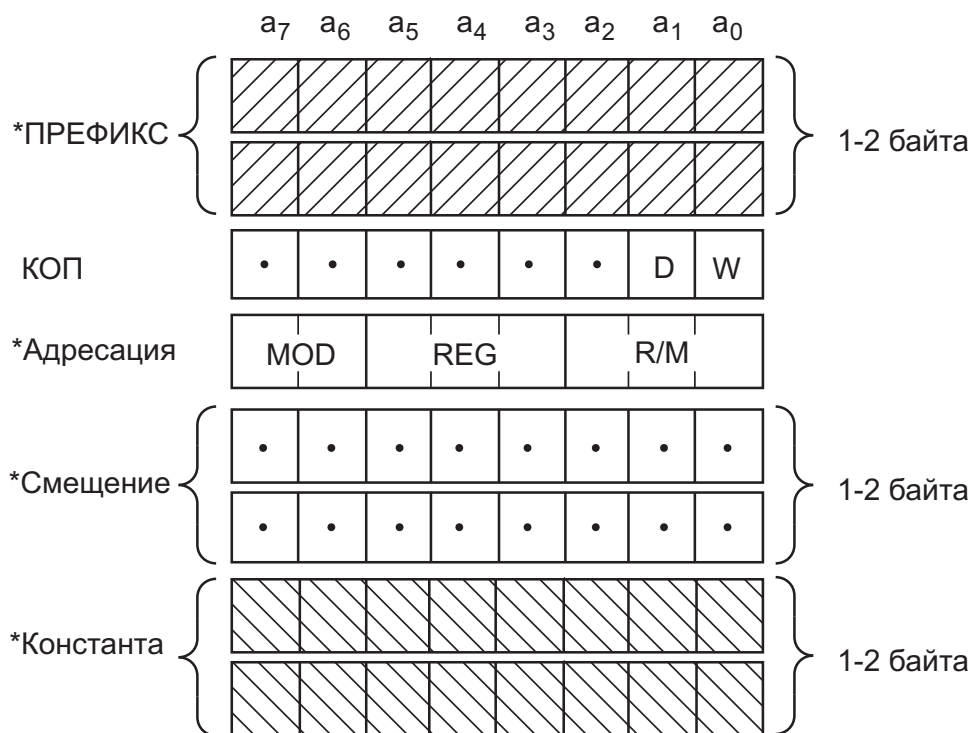


Рис. 3.15. Структура и форматы команд i8086

битовых поля: 'D' и 'W'. Бит D задает направление пересылки данных в случае, когда в команде присутствует байт способа адресации. При  $D = 1$  поле R/M в байте адресации задает источник, а поле REG – приемник. При  $D = 0$  источник адресуется полем REG, а приемник – полем R/M. Бит W задает размерность регистра, указанного в поле REG. При  $W = 1$  подразумевается 16-разрядный регистр, а при  $W = 0$  – 8-разрядный регистр.

Поля MOD, REG и R/M баята адресации определяют способы задания местоположения операндов. В табл. 3.16 приведены способы

вычисления эффективного адреса операндов в зависимости от кодов полей R/M и MOD. Один (DISP8) или два (DISP16) байта смещения идут следом за байтом адресации (рис. 3.15). Их роль в формировании эффективного адреса полностью определяется табл. 3.16. При значении поля MOD = 11 поле R/M адресует регистры микропроцессора. Спецификация поля R/M в этом случае будет совпадать со спецификацией поля REG, задающего адреса 8- и 16-разрядных регистров микропроцессора в соответствии с табл. 3.17.

Таблица 3.16. Вычисление эффективного адреса

| R/M | MOD     |                 |                  |
|-----|---------|-----------------|------------------|
|     | 00      | 01              | 10               |
| 000 | BX + SI | BX + SI + DISP8 | BX + SI + DISP16 |
| 001 | BX + DI | BX + DI + DISP8 | BX + DI + DISP16 |
| 010 | BP + SI | BP + SI + DISP8 | BP + SI + DISP16 |
| 011 | BP + DI | BP + DI + DISP8 | BP + DI + DISP16 |
| 100 | SI      | SI + DISP8      | SI + DISP16      |
| 101 | DI      | DI + DISP8      | DI + DISP16      |
| 110 | DISP16  | BP + DISP8      | BP + DISP16      |
| 111 | BX      | BX + DISP8      | BX + DISP16      |

Таблица 3.17. Адресация регистров микропроцессора

| W | REG или (R/M при MOD=11) |     |     |     |     |     |     |     |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | 000                      | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
| 0 | AL                       | CL  | DL  | BL  | AH  | CH  | DH  | BH  |
| 1 | AX                       | CX  | DX  | BX  | SP  | BP  | SI  | DI  |

Далее могут идти один или два байта данных (константа), представляющие собой непосредственный операнд.

Перед кодом операции КОП могут быть один или два байта префикса. Префиксы не создают нового машинного кода, но изменяют алгоритм выполнения операции. Примерами могут служить уже упоминавшиеся префиксы сегментных регистров (CS:, DS:, SS: и ES:), которые изменяют способ вычисления физического адреса (табл. 3.15).

### 3.3.5. Список команд i8086

Все команды микропроцессора i8086 (прил. 2) можно разделить на шесть групп:

- 1) команды пересылки данных;
  - 2) арифметические команды;
  - 3) логические команды, включая команды сдвига;
  - 4) команды передачи управления, включая команды прерываний;
  - 5) строковые команды;
  - 6) команды управления состоянием микропроцессора.
- Обсудим кратко особенности команд каждой группы.

#### Команды пересылки данных

Команды пересылки данных не модифицируют состояния регистра признаков. Исключение составляют лишь две команды, которые непосредственно изменяют содержимое регистра признаков: SAHF и ROPF.

В данную группу входят:

- традиционные команды пересылки (MOV) с операндами в виде сегментного регистра, 8/16-разрядного РОНа, 8/16-разрядного операнда в памяти или непосредственного операнда-источника;
- команды обмена данными между операндами (XCHG);
- команды табличных преобразований данных (XLAT);
- команды для вычисления эффективного адреса и его загрузки в регистр (LEA);
- команды для быстрого извлечения из памяти и загрузки четырехбайтных адресов (LDS, LES);
- пересылки данных между AX и младшим байтом регистра признаков (LAHF, SAHF);
- команды записи (PUSH) в стек и извлечения из стека (POP) двухбайтовых операндов. Порядок операций при записи в стек: декремент SP, запись старшего байта в [SS:SP], декремент SP, запись младшего байта в [SS:SP]. При извлечении из стека применяется обратный порядок операций. Команды PUSH/POP работают с сегментными регистрами, 16-разрядными РОНами и 16-разрядными словами в памяти. Для работы с регистром признаков используют специальные стековые команды PUSHF и POPF;
- команды ввода/вывода. Адресация портов может быть прямой однобайтной (0..255) или косвенной через двухбайтный регистр DX (0..64K). Одним операндом является 8/16-разрядный порт, а другим – регистры AL или AX соответственно.

## Арифметические команды

В отличие от предыдущих микропроцессоров, где результат операции размещался только в регистре-аккумуляторе, в i8086 результат арифметической операции помещается в левый операнд, в качестве которого может выступать любой 8/16-разрядный регистр общего назначения или ячейка памяти.

В группу арифметических команд входят:

- команды сложения (ADD) и вычитания (SUB);
- команды сложения (ADC) и вычитания с (SBB) с учетом бита CF;
- команды инкремента (INC) и декремента (DEC);
- команда смены знака операнда (NEG);
- команда сравнения (CMP), которая работает как команда вычитания, но результат вычитания не записывается, а устанавливаются лишь флаги регистра признаков;
- команды коррекции результатов сложения (AAA, DAA) и вычитания (AAS, DAS) чисел в двоично-десятичном коде (ДДК). Поддержаны распакованный (AAA, AAS) и упакованный (DAA, DAS) двоично-десятичные коды;
- команды умножения (MUL, IMUL) и деления (DIV, IDIV) порядковых (MUL, DIV) и целых со знаком (IMUL, IDIV). Деление на нуль вызывает прерывание INT 0. Коррекция умножения (AAM) и деления (AAD) распакованных ДДК;
- команды преобразования байта в слово (CBW) и преобразования слова в двойное слово (CWD). Преобразование достигается повторением содержимого старшего (знакового) бита AL.7 или AX.15 во всех добавляемых разрядах.

## Логические команды

Логические команды имеют ту же самую структуру операндов, что и арифметические команды. Помимо традиционного набора логических команд инверсии (NOT), дизъюнкции (AND), конъюнкции (OR) и сложения по модулю два (XOR) в группу логических операций входит команда TEST. Эта команда выполняет операцию логического 'И' без записи результата операции в левый операнд. Весь смысл операции – в установке флагов, соответствующих результату операции.

Операции сдвигов представлены: командами циклических сдвигов с включением CF в цепь сдвигов (RCL/RCR) и без включения CF в цепь сдвига (ROL/ROR); командами арифметических (SAL/SAR) и логических (SHL/SHR) линейных сдвигов. Особенностью является возможность задания количества позиций сдвига в регистре CL.



### Строковые команды

Строкой (массивом, цепочкой) называется последовательность байтов, подряд идущих в памяти. Строка представляет собой дальнейшее развитие понятия “слово” данных. Длина строки ограничена значением 64 К. Элементом строки может быть байт (B) или двухбайтовое слово (W). Для адресации элементов строк используют регистры DS:[SI] (элемент строки-источника) и ES:[DI] (элемент строки-приемника). После выполнения операции над элементом строки содержимое регистра SI или DI автоматически изменяется, чтобы адресовать следующий элемент строки. Направление изменения адреса задается флагом DF регистра признаков: инкремент при DF = 0 и декремент при DF = 1.

Для автоматического повторения строковых операций предусмотрены префиксы аппаратных циклов. Регистр CX является счетчиком цикла. Условиями окончания аппаратных циклов являются обнуление CX (REP), ZF = 0 ИЛИ CX = 0 (REPNE, REPZ), ZF = 1 ИЛИ CX = 0 (REPE, REPZ).

Команды поддерживают пять операций над элементами строк: копирование байта из элемента строки-источника в элемент строки-приемника (MOVSB, MOVSW); загрузка элемента строки источника в регистр AL (LODSB) или AX (LODSW); размещение в элементе строки-приемника содержимого AL (STOSB) или AX (STOSW); сравнение элементов строки-источника и строки-приемника с записью результата сравнения в регистр флагов (CMPSB, CMPSW); сравнение элемента строки-источника с содержимым регистров AL (SCASB) или AX (SCASW) с записью результата сравнения в регистр флагов.

### Команды передачи управления

В системе команд i8086 определены три типа переходов, отличающихся форматом адреса и предельной длиной перехода.

**SHORT** – короткие переходы в пределах страницы памяти размером 256 байтов. Адрес перехода представляет собой однобайтное число со знаком в дополнительном коде, которой суммируется с содержимым регистра IP. Таким образом, реализуются переходы от текущего значения IP на (–128 ... +127) байтов памяти команд. Знак минус соответствует переходам назад. Все условные переходы являются короткими.

**NEAR** – внутрисегментные (близкие) переходы в пределах одного сегмента памяти. Адрес перехода представляет собой 16-разрядное смещение, которое загружается в регистр IP. Содержимое сегментных регистров не изменяется.

**FAR** – межсегментные (далекие) переходы в пределах всего адресного пространства микропроцессора. Адрес перехода содержит четыре байта: 16-разрядное смещение и 16-разрядную базу.

Слова **SHORT**, **NEAR** и **FAR** являются зарезервированными словами языка ассемблера i8086. Они предназначены для конкретизации формата адреса перехода при ассемблировании.

Команды безусловного перехода по прямому и косвенному адресу (**JMP**), вызова подпрограммы (**CALL**) и возврата из подпрограммы (**RET**) допускают все три формата адреса перехода.

Команды условного перехода (**J(cond)**) по короткому прямому адресу осуществляют передачу управления по заданному относительному адресу, если выполняется указанное условие (табл. 3.18). Команда состоит из первой буквы “**J**” и мнемонического обозначения одного из условий. Например, для условия “**NZ**” запишем команду в виде “**JNZ**” и т.д. Выделяют три типа условий. К первому типу относят десять условий, связанных с наличием или отсутствием одного из флагов (**CF**, **ZF**, **PF**, **SF** или **OF**) регистра признаков. Второй тип условий предназначен для работы с командами сравнения двух операндов. Формулировка условий удобна для описания результатов сравнения (больше, меньше, равно и т.д.), а сами условия представляют собой логические комбинации соответствующих флагов (табл. 3.18). Третий тип условий служит для контроля опустошения (обнуления) регистров. В системе команд i8086 имеется лишь одно такое условие:  $CX = 0$ .

Команды перехода к подпрограмме (**CALL**) работают по традиционной схеме: запись точки возврата в стек и передача управления по указанному адресу. Команды возврата из подпрограммы (**RET**) извлекают из стека адрес точки возврата. Для различных типов переходов предусмотрены различные пары **CALL/RET**. Команда **RET** может иметь параметр  $n$  для коррекции указателя стека.

Команды прерываний (**INT n**) отличаются от команд **CALL**: во-первых, помимо точки возврата автоматически записывают в стек регистр флагов; во-вторых, оперируют только с 32-разрядными адресами, т.е. осуществляют межсегментные переходы. Для возврата из подпрограммы прерываний служит команда **IRET**, которая извлекает из стека 32-разрядный адрес точки возврата и сохраненное содержимое регистра признаков.

### Команды управления состоянием МП

К этой группе команд относят команды для манипулирования управляющими битами регистра признаков (**CF**, **DF**, **IF**), для работы в мультипроцессорной системе (**ESC**, **LOCK**), а также команды пропуска операции и останова.

Таблица 3.18. Условия передачи управления

| Мнемоника (cond) |     | Условие                   | Описание условия        |
|------------------|-----|---------------------------|-------------------------|
| NC               |     | $CF = 0$                  | Отсутствие переноса     |
| C                |     | $CF = 1$                  | Перенос                 |
| NZ               |     | $ZF = 0$                  | Неравенство нулю        |
| Z                |     | $ZF = 1$                  | Равенство нулю          |
| NO               |     | $OF = 0$                  | Отсутствие переполнения |
| O                |     | $OF = 1$                  | Переполнение            |
| NS               |     | $SF = 0$                  | Положительный результат |
| S                |     | $SF = 1$                  | Отрицательный результат |
| NP               | PO  | $PF = 0$                  | Нечетность              |
| P                | PE  | $PF = 1$                  | Четность                |
| NE               |     | $ZF = 0$                  | оп1 $\neq$ оп2          |
| E                |     | $ZF = 1$                  | оп1 = оп2               |
| NAE              | B   | $CF = 1$                  | (б/з) оп1 < оп2         |
| AE               | NB  | $CF = 0$                  | (б/з) оп1 $\geq$ оп2    |
| NA               | BE  | $(CF = 1) + (ZF = 1)$     | (б/з) оп1 $\leq$ оп2    |
| A                | NBE | $(CF = 0) \& (ZF = 0)$    | (б/з) оп1 > оп2         |
| NGE              | L   | $SF \neq OF$              | (зн) оп1 < оп2          |
| G                | NLE | $SF = (ZF \& OF)$         | оп1 > (зн) оп2          |
| GE               | NL  | $SF = OF$                 | (зн) оп1 $\geq$ оп2     |
| NG               | LE  | $(SF \neq OF) + (ZF = 0)$ | (зн) оп1 $\leq$ оп2     |
| CXZ              |     | $(CX) = 0$                | Нуль в регистре CX      |

**Примечание.** оп1, оп2 – операнды первый и второй соответственно; (б/з) – отсутствие знака у операнда; (зн) – наличие знака у операнда.

### 3.4. Микропроцессоры z80, i8088, i80186, i80188

#### Микропроцессор z80

Zilog Z80 — 8-разрядный микропроцессор, разработанный и производимый фирмой Zilog с 1976 года. Он широко использовался в домашних и персональных компьютерах, а также во встраиваемых и военных системах. Z80, вместе с его наследниками и клонами, составляют одно из наиболее широко использовавшихся семейств микропроцессоров, которое вместе с семейством MOS Technology 6502 было доминирующим семейством на рынке 8-разрядных компьютеров с 1970-х до середины 1980-х годов.

Zilog Z80 был разработан спустя некоторое время после появления на рынке i8080. Новый процессор создавался бинарно-совместимым с 8080, так что большая часть кода для i8080 могла функционировать на новом процессоре, в частности — операционная система CP/M.

Z80 имел ряд улучшений по сравнению с i8080: расширенный набор команд, включая побитовые операции, поблочное копирование, поблочный ввод/вывод, инструкции поиска, новые регистры IX и IY и инструкции для них, новые режимы прерываний, два отдельных блока регистров, между которыми можно быстро переключиться, единственный 5-вольтовый источник питания, значительно меньшая цена. Первые модели Z80 работали на тактовой частоте 2.5 МГц, более поздние модели достигали частоты до 20 МГц.

В бывшем Советском Союзе был создан полностью совместимый клон Z80 — микропроцессор Т34ВМ1.

Будучи промышленным лидером с начала выпуска, 8-разрядный микропроцессор Z80 до сих пор популярен среди производителей микроконтроллеров. Архитектура Z80 идеально подходит для использования во встраиваемых системах управления. Она основана на двойных блоках регистров, что позволяет быстро выполнять действия над регистрами и обрабатывать прерывания.

#### Микропроцессор i8088

Данный МП отличается от i8086 тем, что имеет внешнюю 8-разрядную шину данных при внутренней 16-разрядной шине. Уменьшение разрядности шины данных упрощает построение блоков памяти интерфейса с внешними устройствами, но производительность процессора снижается на 20-30%. Структурная схема i8088 аналогична схеме МП i8086, однако длина очереди команд сокращена до 4 байт, а опережающая выборка кодов команд выполняется при наличии одного свободного байта. Эти свойства оптимизируют конвейер с учетом разрядности шины. С программной точки зрения процессоры иден-

тичны, их система команд и набор регистров одинаковы. Так же как и МП i8086, МП i8088 выполняет 8- и 16-разрядные логические и арифметические операции, включая умножение и деление в двоичном и двоично-десятичном кодах, операции со строками, поддерживает режимы прерывания, прямого доступа к памяти, операции с портами. Расположение и назначение выводов МП i8086 и i8088 совпадают, за исключением того, что в i8088 линии AD15–AD8 используются только для адреса, а линия  $\overline{VNE}$  заменена линией состояния ST0. Сигналы ST0, DT/ $\overline{R}$  и IO/ $\overline{M}$  могут использоваться для идентификации типа цикла шины в соответствии с табл. 3.10.

#### Микропроцессоры i80186 (i80188)

Встраиваемый микропроцессор i80186 (i80188) появился в 1982 г. Он, помимо улучшенного ядра i8086, содержит на своем кристалле множество компонентов поддержки, ранее представленных отдельными БИС. Это позволило сократить количество микросхем в системе и уменьшить ее стоимость. Система команд нового семейства была также расширена по сравнению с i8086 (i8088).

Новые компоненты: два контроллера прямого доступа к памяти (DMA) со схемами прерываний; дешифраторы адреса (программируемые схемы выбора кристалла); трёхканальный программируемый таймер/счётчик; генератор синхронизации; программируемый контроллер прерываний.

В 1987 году был выпущен процессор i80C186. Он производился по улучшенной технологии (CHMOS III), что позволило увеличить тактовую частоту процессоров вдвое, а потребляемую мощность снизить в 4 раза. При этом была сохранена совместимость по выводам микросхемы с предыдущими процессорами.

В 1990 году был выпущен процессор 80C186EB с модульным ядром 80C186 (Modular Core). БИС поддержки были спроектированы как модули со стандартными интерфейсами. В связи с переходом на новую технологию (CHMOS IV) и модульную структуру удалось снизить потребляемую мощность. Процессор i80C186EB нашел применение в переносной аппаратуре (например, сотовые телефоны).

Процессоры 80C186XL, 80C186EA и 80C186EC были выпущены в 1991 году. Они также базируются на модульном ядре 80C186. Процессор i80C186XL обладает высокой производительностью и низким энергопотреблением. Процессор i80C186EA объединяет в себе процессор i80C186 с новыми возможностями управления энергопотреблением. Процессор i80C186EC включает в себя дополнительные элементы, которых не имели другие процессоры семейства i80C186.

## 4. ОДНОКРИСТАЛЬНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ И МИКРОЭВМ

### 4.1. Термины и определения

Широкое использование микропроцессорной техники для задач управления привело к появлению на рынке специализированных микропроцессорных устройств, ориентированных на подобного рода применения. Особенностью этих микросхем является то, что, помимо собственно процессора, на этом же кристалле расположена и система ввода-вывода, позволяющая снизить функциональную сложность и габаритные размеры микропроцессорной системы управления. Подобные устройства получили название *микроконтроллеры*.

Одними из первых микроконтроллеров были микросхемы семейства MCS-48 фирмы Intel, выпущенные в 1976 году. В 1981 году фирма Intel выпустила новое семейство 8-разрядных микроконтроллеров MCS51, которые получили огромное распространение во всем мире и дали толчок бурному развитию микроконтроллеров. Вслед за фирмой Intel микроконтроллеры начинают выпускать и другие ведущие производители микропроцессорной техники. Фирма Motorola выпустила самый популярный в мире 8-разрядный микроконтроллер M68HC05. Эволюция микроконтроллеров соответствовала общему прогрессу микропроцессорной техники. Увеличивалась разрядность микроконтроллеров, их быстродействие, совершенствовалась встроенная система ввода-вывода. Появились 16-разрядные (MCS-96 фирмы Intel, M68HC12, M68HC16 фирмы Motorola и многие другие), а затем и 32-разрядные (например, M68HC32 фирмы Motorola) микроконтроллеры. С 1984 года начало развиваться направление так называемых RISC-микроконтроллеров, обладающих повышенным быстродействием. Представителями подобных устройств являются семейства SAV80C166 фирмы Siemens, MPC500 (на базе PowerPC ядра) фирмы Motorola и др.

Уклон в сторону управления накладывает отпечаток на особенность архитектуры микроконтроллеров. Дальнейшая интеграция позволила объединить на одном кристалле с процессором не только систему ввода-вывода, но и блок памяти. В последнем случае принято говорить о микроконтроллере как об однокристальной микроЭВМ.

Рассмотрим основные понятия и определения, необходимые для дальнейшего изложения. На рис. 4.1 представлена упрощенная структурная схема микропроцессорной системы управления. Процессор вы-

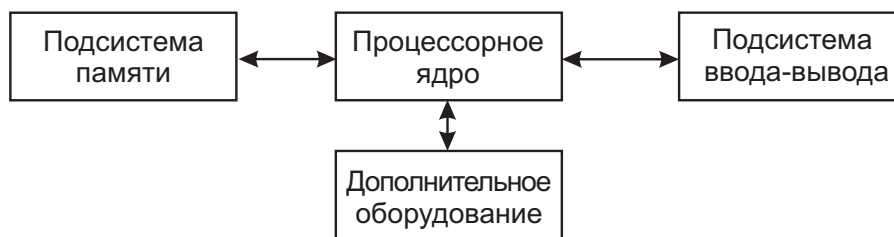


Рис. 4.1. Упрощенная структурная схема микропроцессорной системы

полняет все программные действия, необходимые в соответствии с алгоритмом работы устройства. В блоке памяти хранятся команды программы функционирования процессора, а также значения констант и переменных величин, участвующих в вычислениях. Блок ввода-вывода выполняет функцию сопряжения микропроцессорной системы с объектом управления.

*Микроконтроллер* – вычислительно-управляющее устройство, предназначенное для выполнения функций логического контроля и управления периферийным оборудованием, выполненное в виде одной БИС и сочетающее в себе микропроцессорное ядро и набор встроенных устройств ввода-вывода.

*Однокристалльная микроЭВМ* – вычислительно-управляющее устройство, объединяющее на одном кристалле с процессором, систему ввода-вывода, блок памяти и некоторые другие дополнительные блоки.

При изложении материала мы не будем делать различий между однокристалльными микроконтроллерами и микроЭВМ. Во всех случаях будет использоваться общий термин – микроконтроллер.

Микроконтроллер состоит из нескольких подсистем, включая процессорное ядро, подсистему ввода-вывода, подсистему памяти и ряд дополнительных блоков. К дополнительному оборудованию относят встроенные периферийные устройства: многоканальные генераторы сигналов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), аналого-цифровые преобразователи, блоки векторных преобразований координат, таймеры-счетчики, сторожевые таймеры и т.п. Примерами таких устройств могут служить микроконтроллеры ADMC330 фирмы Analog Devices, TMS320C240 фирмы Texas Instruments, 56800 фирмы Motorola, векторный сопроцессор ADMC200 фирмы Analog Devices.

## 4.2. Основное оборудование микроконтроллера

### 4.2.1. Процессорное ядро

Современные микроконтроллеры могут быть построены как по гарвардской (MCS51 Intel), так и по фон-неймановской архитектурам (MCS96 Intel, 80C166 Siemens). Все они имеют внешнюю системную магистраль для обмена данными с внешней памятью и дополнительными периферийными устройствами. Классические семейства микроконтроллеров (MCS51) имеют, как правило, мультиплексные шины адреса/данных, что обусловлено необходимостью минимизировать размер микросхемы. Однако современные быстродействующие микроконтроллеры используют разделенные шины без мультиплексирования, что ускоряет работу системы. Некоторые модели микроконтроллеров имеют возможность работать либо с мультиплексной, либо с демультиплексной шиной в зависимости от требуемой конфигурации системы. В случае демультиплексной шины контроллер быстрее обменивается данными по магистрали. При работе с мультиплексной шиной освободившиеся выводы используются в качестве портов ввода-вывода (MCS251 Intel, 80C166 Siemens).

Почти все микроконтроллеры выполняют только операции с фиксированной точкой. Существуют 8-разрядные (MCS51 Intel, MC6805 Motorola), 16-разрядные (MCS-96 Intel, 80C166 Siemens, MC6816 Motorola) и 32-разрядные (MC683 Motorola, MPC500 PowerPc) микроконтроллеры. Системы команд микроконтроллеров поддерживают, как правило, широкий набор методов адресации.

### 4.2.2. Подсистема памяти

Различают микроконтроллеры с аккумуляторной (MCS51) и регистровой (MCS-96) организацией. Количество регистров и их разрядность зависит от конкретной модели. Зачастую микроконтроллеры имеют несколько банков регистров (MCS-48, MCS51, 80C166).

Резидентная (внутренняя) память данных (РПД) определенного объема присутствует в простом микроконтроллере практически всегда. Она обменивается данными с процессорным ядром по внутренней магистрали микроконтроллера, которая может быть организована иначе, чем внешняя. Поэтому обмен данными с внутренней памятью данных, как правило, осуществляется быстрее, чем с внешней. Разновидности памяти данных: регистровый файл, различные виды EEPROM с ресурсами от 100 тыс. до 1 млн. операций записи и системой страховки от сбоя при записи.

Варианты реализации резидентной (внутренней) памяти программ (РПП) могут быть различными.



1. РПП отсутствует. В этом случае микроконтроллер выполняет программу, считывая команды из внешней памяти программ через системную магистраль.

2. РПП выполнена в виде масочного ПЗУ. В этом случае микроконтроллер не нуждается во внешней памяти программ. Однако программа во внутреннюю память записывается однократно на этапе изготовления кристалла и не может быть изменена в дальнейшем. Как правило, программа, записанная во внутреннюю память, выполняется быстрее, чем из внешней памяти.

3. РПП выполнена в виде однократно программируемого ППЗУ. В этом случае пользователь сам может записать программу во внутреннюю память, но лишь однажды. Для записи программы, как правило, необходим специальный программатор. Однако существуют микроконтроллеры, способные программировать сами себя. Например, в MCS-96 программатор реализован внутри кристалла микроконтроллера.

4. РПП выполнена в виде ППЗУ с УФ-стиранием (EPROM). В этом случае память программ может быть многократно перепрограммирована с помощью программатора. Перед очередным программированием она должна быть очищена с помощью УФ-излучения.

5. РПП выполнена в виде Flash-памяти. В этом случае память программ может быть многократно перепрограммирована в процессе работы системы.

6. РПП реализована в виде оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). В этом случае для загрузки программы после включения питания используется так называемый Boot Strep загрузчик. Это механизм, позволяющий после включения питания загрузить начальную программу функционирования по последовательному каналу связи либо по системной магистрали.

### 4.2.3. Подсистема ввода-вывода

Подсистема ввода-вывода состоит из набора разнообразных устройств, выполняющих специфические функции управления и контроля.

#### Параллельные порты ввода-вывода

Порты могут быть либо однонаправленными для выполнения функции ввода или вывода, либо квазидвунаправленными. Такие порты могут выполнять функции как входа, так и выхода (в каждый конкретный момент времени либо вход, либо выход). Микроконтроллеры, поддерживающие битовую адресацию, способны управлять состоянием каждого вывода порта отдельно, поддерживают альтернатив-

ные функции (АФ) входа и выхода. Упрощенная структура квазидвухнаправленного порта с одним управляющим битом приведена на рис. 4.2, *a*. Подобная схемотехника применяется в MCS51. Для вво-

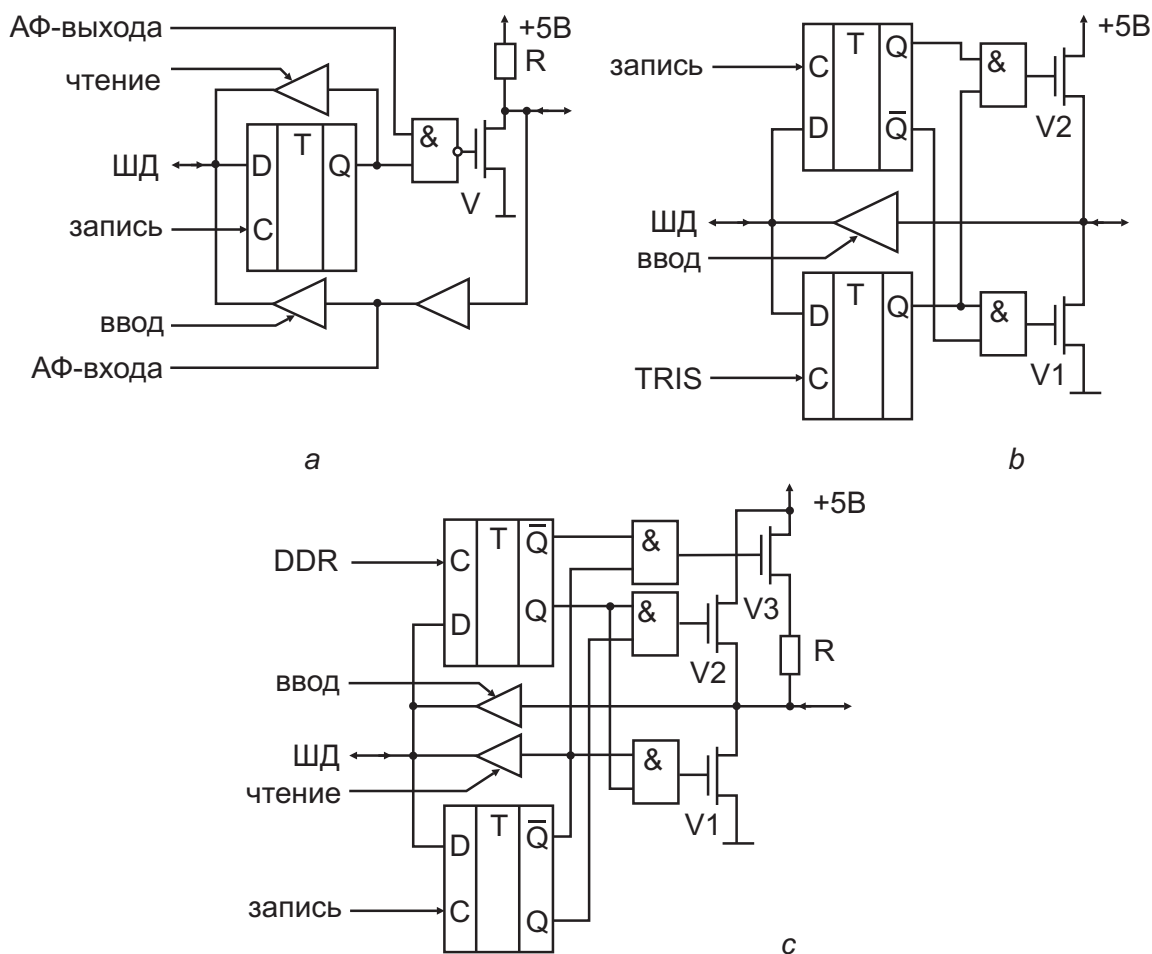


Рис. 4.2. Схемотехника портов ввода-вывода с управлением одним (*a*), двумя (*b*) и тремя (*c*) битами

да необходимо закрыть транзистор V. В PIC-микроконтроллерах используют схемотехнику с двумя управляющими битами (рис. 4.2, *b*) и триггером переключения направления, управляемым стробом TRIS. Если порт работает как выход, то один из выходных транзисторов открыт, а другой закрыт в соответствии с уровнем выходного сигнала. Для того чтобы порт работал как вход, необходимо записать в триггер направления 0, тогда выходные ключи V1 и V2 будут закрыты, т.е. будет иметь место высокий импеданс линии входа. В микроконтроллерах типа AVR используют три управляющих бита (рис. 4.2, *c*), регистр переключения направления, управляемый стробом DDR, и ключ V3 с резистором R, обеспечивающие тонкую настройку в режиме ввода. Имеется возможность считывать информацию не только с входной линии, но и непосредственно из буфера выходного регистра данных.

### Последовательные порты ввода-вывода

Модуль последовательного ввода-вывода используется для обмена данными между микроконтроллером и удаленным периферийным узлом. Данные передаются в последовательном коде, т.е. биты передаются во временной последовательности друг за другом по одному каналу связи. Это даёт возможность использовать один канал связи вместо нескольких в случае параллельного кода. Однако при этом снижается быстродействие канала связи.

Микроконтроллер может содержать либо отдельные синхронные и асинхронные порты ввода-вывода, либо универсальный порт, способный работать в нескольких режимах. Перечислим некоторые виды последовательных портов, характерных для однокристальных микроконтроллеров:

- последовательный синхронный или синхронно-асинхронный приемопередатчик (УАПП или УСАПП), представляющий собой последовательный порт ввода-вывода в стандарте, который совпадает с RS232 во всем, кроме уровней сигнала. УСАПП и УАПП обычно поддерживают стандартный для RS232 набор скоростей передачи, вплоть до 115200 бит/с, хотя во многих случаях могут работать и на более высоких скоростях, особенно в синхронном режиме;
- последовательный синхронный периферийный интерфейс SPI, представляющий собой последовательный синхронный порт ввода-вывода по трехпроводному последовательному каналу;
- последовательный синхронный периферийный интерфейс I<sup>2</sup>C, представляющий собой последовательный синхронный порт ввода-вывода по двухпроводному последовательному каналу;
- последовательный сетевой интерфейс CAN, представляющий собой последовательный асинхронный порт ввода-вывода;
- универсальная последовательная шина USB.

Имеет место тенденция постоянного повышения предельных скоростей передачи по мере развития элементной базы. Данная тенденция находит свое отражение в появлении новых редакций стандартов на последовательные интерфейсы, закрепляющих эти новые, более высокие значения предельных параметров. Например, новые редакции стандарта специфицируют последовательную шину USB для скоростей обмена 12 Мбит/с (USB-1.1) и 480 Мбит/с (USB-2.0).

### 4.3. Таймеры и процессоры событий

Микроконтроллеры работают в режиме реального времени, управляя внешними объектами или считывая данные с внешних источни-

ков сигналов. В этой связи неотъемлемой частью современного микроконтроллера является подсистема реального времени. Важнейшей частью этой подсистемы служат цифровые таймеры и различные устройства на их основе. Таймеры используются для отсчета временных интервалов (интервальные таймеры) либо для подсчета внешних событий (счетчики внешних событий). В более сложных устройствах подсистемы реального времени таймеры работают непрерывно, задавая масштаб времени – временную базу. В этом случае все отсчеты интервалов времени и другие действия в режиме реального времени выполняются аппаратно.

#### 4.3.1. Таймеры/счетчики

Включают в себя таймеры/счетчики общего назначения и специализированные счетчики с коммутируемыми источниками синхронизации.

##### Интервальный таймер/счетчик общего назначения

Интервальный таймер/счетчик общего назначения представляет собой интегрированное в микроконтроллер аппаратное устройство, состоящее из счетчика импульсов (обычно по модулю 8 или 16), схемы управления и схемы переноса. Конкретные режимы работы и структура интервальных таймеров/счетчиков зависят от модели микроконтроллера. Схема управления обычно содержит один или несколько управляющих программно-доступных регистров для задания режима работы и управления работой таймера/счетчика. Для запуска и остановки счетчика/таймера используют либо специальные команды, либо общие команды для установки (сброса) определенных битов регистра управления. Счетчик представляет собой программно-доступный регистр, содержимое которого может считываться и модифицироваться обычными командами пересылки данных. Некоторые модели микроконтроллеров допускают считывание содержимого таймера/счетчика “на лету”, т.е. без остановки его работы.

Источником счетных импульсов может быть либо один из входов микроконтроллера, либо системный синхросигнал с фиксированной частотой (возможно, предварительно деленной на заданное число).

В первом случае устройство выполняет функции счетчика внешних событий (отрицательных или положительных перепадов) на входе микросхемы. Счет может производиться либо в одном, либо в обоих направлениях. В последнем случае направление счета определяется уровнем сигнала на соответствующем входе микросхемы.

Во втором случае устройство выполняет функции интервального таймера, так как фактически считает интервалы времени постоянной

длительности, задаваемые высокостабильным тактовым генератором.

При переходе содержимого счетчика из наибольшего состояния в наименьшее (или наоборот) схема переноса устанавливает специальный флаг переполнения (переноса). Этот флаг может опрашиваться программно или аппаратно. В последнем случае при установке флага переполнения формируется внутренний запрос на прерывание.

Основными недостатками классического таймера/счетчика являются:

- 1) потери времени на выполнение команд пуска и останова таймера, приводящие к ошибкам при измерении временных интервалов;
- 2) сложности при формировании временных интервалов (меток времени), отличных от периода полного коэффициента счета;
- 3) невозможность одновременного обслуживания (измерения или формирования импульсного сигнала) сразу для нескольких каналов.

Первые два недостатка устранены в усовершенствованном модуле интервального таймера/счетчика, применяемом в ряде микроконтроллеров (например, Intel MCS-51). Дополнительная логика счетного входа позволяет тактовым импульсам поступать на вход счетчика, если уровень сигнала на одной из линий ввода соответствует логической единице. Такое решение повышает точность измерения временных интервалов, так как пуск и остановка таймера производится аппаратно. Кроме того, в усовершенствованном модуле таймера/счетчика реализован режим аппаратной перезагрузки счетчика произвольным кодом в момент переполнения. Это позволяет формировать временные последовательности с периодом, отличным от периода полного коэффициента счета.

### Широтно-импульсный модулятор

Встроенный широтно-импульсный модулятор (ШИМ) предназначен для генерации широтно-модулированного сигнала на выходе микросхемы без участия процессора. На таймер блока подается системный синхросигнал (возможно, через предделитель). В регистр периода процессор записывает число, соответствующее периоду ШИМ. При совпадении содержимого этого регистра и таймера последний сбрасывается в нулевое состояние и на соответствующем выходе микросхемы формируется положительный перепад. В регистре длительности процессор записывает число, соответствующее длительности импульса. При совпадении его содержимого с содержимым таймера на выходе микросхемы формируется отрицательный перепад.

При такой организации возможная разрядность ШИМ зависит от частоты сигнала. В некоторых моделях микроконтроллеров используются специализированные многоканальные модули ШИМ, в частности для управления приводом (Intel 80C196MC).

### Цифровой компаратор

Цифровой компаратор осуществляет аппаратную операцию сравнения двух операндов. Он представляет собой интегрированную в микроконтроллер электронную схему, состоящую из программно-доступного регистра для записи одного из операндов и логических элементов, реализующих функцию равнозначности. Другой операнд чаще всего представлен содержимым таймера/счетчика. При совпадении значений обоих операндов вырабатывает логический сигнал – признак. Этот признак может быть опрошен программно или аппаратно.

#### 4.3.2. Модули захвата и сравнения

Все усовершенствования интервального таймера/счетчика не устраняют его главного недостатка – одноканального режима работы. Имеют место два направления совершенствования подсистемы реального времени микроконтроллера. В первом случае увеличивают количество модулей таймеров/счетчиков (микроконтроллеры со структурой Intel MCS-51/52, Mitsubishi и Hitachi). Во втором случае принципиально изменяют структуру модуля таймера/счетчика, при которой увеличение числа каналов достигается не за счет увеличения числа счетчиков, а за счет введения дополнительных аппаратных средств: модулей входного захвата (Input capture — IC) и выходного сравнения (Output compare — OC). По такому пути идут в микроконтроллерах Intel (80хс51FA, MCS-96, MCS-251) и Motorola). Эти модули, называемые ещё модулями быстрого ввода-вывода, предназначены для быстрой генерации события на выходе микросхемы либо быстрой реакции на событие на её входе без участия процессора. Они имеют два основных режима работы – входной и выходной.

#### Модуль входного захвата

Таймер модуля считает импульсы системного синхросигнала, проходящие, возможно, через предделитель частоты, создавая временную базу. Схема детектора события “наблюдает” за уровнем напряжения на одном из входов микроконтроллера. В большинстве случаев – это одна из линий порта ввода/вывода. Изменение уровня логического сигнала (фронт или спад) воспринимается как заданное событие – событие захвата. В момент, когда на соответствующем входе микросхемы происходит событие захвата, вырабатывается строб записи и содержимое таймера фиксируется в регистре времени события. Таким образом, запоминается время события, которое затем может быть считано процессором по соответствующей команде. Этот режим исполь-

зуется, в частности, для измерения частоты и длительности входного импульсного сигнала.

Обычно предусмотрена возможность выбора типа сигнала на входе, воспринимаемого как событие: положительный (передний) фронт сигнала, отрицательный (задний) спад сигнала, любое изменение логического уровня сигнала. Выбор типа события захвата устанавливается в процессе инициализации таймера и может неоднократно изменяться в ходе выполнения программы. Каждое событие захвата приводит к установке триггера входного захвата и появлению на его выходе флага (признака) входного захвата. Признак может быть считан программно, а если прерывания по событию захвата разрешены – формируется запрос на прерывание.

### Модуль выходного сравнения

Таймер модуля считает импульсы, поступающие с постоянной частотой, соответствующей сигналу синхронизации (возможно, деленной на предварительном делителе). Таймер работает непрерывно, создавая временную базу. Цифровой компаратор также непрерывно сравнивает текущее состояние таймера с кодом, который записан в регистре выходного сравнения. В момент равенства кодов на одном из выходов микроконтроллера устанавливается заданный уровень логического сигнала. Обычно предусмотрено три типа изменения сигнала на выходе в момент события выходного сравнения: установка высокого логического уровня; установка низкого логического уровня; инвертирование сигнала на выходе. При наступлении события сравнения устанавливаются триггер выходного сравнения и соответствующий ему признак выходного сравнения. Аналогично режиму входного захвата состояние триггера выходного сравнения может быть считано программно, а если прерывания по событию сравнения разрешены – формируется запрос на прерывание. Таким образом, можно запрограммировать определенное выходное событие в заданное время и осуществить его без участия процессора. Режим выходного сравнения предназначен прежде всего для формирования временных интервалов заданной длительности.

Аппаратные средства усовершенствованного таймера позволяют решить многие задачи управления в реальном времени. Однако по мере роста сложности алгоритмов управления отчетливо проявляются ограничения модулей усовершенствованного таймера, а именно недостаточное число каналов захвата и сравнения, принадлежащих одному счетчику временной базы. Это не позволяет сформировать синхронизированные между собой многоканальные импульсные последовательности; однозначно определенная конфигурация канала (или захват, или сравнение) часто не удовлетворяет потребностям решаемых

мой задачи; формирование сигналов по методу широтно-импульсной модуляции требует программной поддержки, что снижает максимально достижимую частоту выходного сигнала.

### Контроллер периферийных событий

Этот контроллер предназначен для обеспечения некоторого блока событий в заданное время без участия процессора. Заданные события выполняются на микропрограммном уровне. Такими блоками событий могут быть передача блока информации из одного места памяти (или устройства ввода-вывода) в другое, последовательный опрос нескольких каналов АЦП, передача информации по последовательному каналу связи. Использование такого механизма обработки событий позволяет снизить загрузку процессора и распараллелить процесс обработки информации.

#### 4.3.3. Процессор событий

Следующим этапом развития модулей подсистемы реального времени микроконтроллеров являются процессоры событий. Впервые модули процессоров событий были использованы компанией Intel в МК семейства 8xС51Fх. Этот модуль получил название программируемого счетного массива (Programmable Counter Array – PCA). Другое название – процессор событий.

PCA обеспечивает более широкие возможности работы в реальном масштабе времени и в меньшей степени расходует ресурсы центрального процессора, чем стандартный и усовершенствованный таймеры/счетчики. К преимуществам PCA также можно отнести более простое программирование и более высокую точность.

В микроконтроллере Intel 8xС51Fх процессор событий состоит из 16-разрядного таймера-счетчика и пяти 16-разрядных модулей сравнения-захвата (compare-capture) (рис. 4.3). Таймер PCA является базой

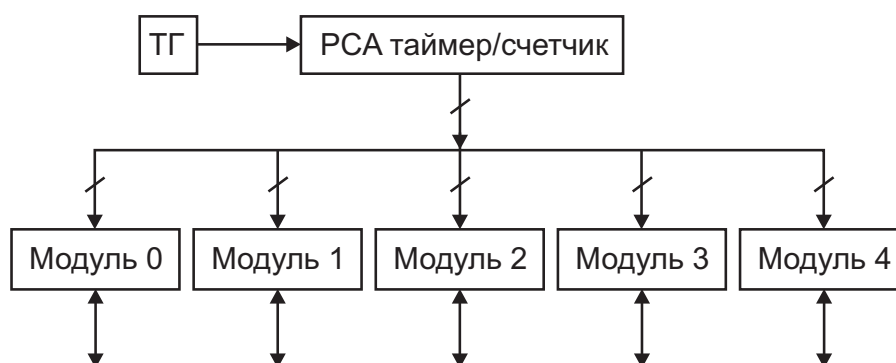


Рис. 4.3. Организация процессора событий фирмы Intel



времени для пяти модулей и единственным таймером, обслуживающим РСА. На его счетный вход могут подаваться следующие сигналы:

- выход делителя на 12 тактового генератора МК;
- выход делителя на 4 тактового генератора МК;
- сигнал переполнения таймера 0;
- внешний входной сигнал на выводе ЕСІ (Р1.2).

Любой из модулей сравнения-защелки может быть запрограммирован для работы в следующих режимах: защелкивания по фронту и/или спаду импульса на входе СЕХ<sub>і</sub>; программируемого таймера; высокоскоростного выхода; широтно-импульсного модулятора.

Режим защелкивания по импульсу на входе МК эквивалентен режиму входного захвата (ІС) усовершенствованного таймера.

Режимы программируемого таймера и высокоскоростного выхода близки по своим возможностям к режиму выходного сравнения (ОС).

В режиме ШИМ на соответствующем выводе МК формируется последовательность импульсов с периодом, равным периоду базового таймера/счетчика РСА. Значение 8-разрядного кода, записанное в младший байт регистра-защелки соответствующего модуля, задает скважность формируемого сигнала. При изменении кода от 0 до 255 скважность меняется от 100 до 0.4 %.

Режим ШИМ очень прост с точки зрения программного обслуживания. Если изменения скважности не предполагается, то достаточно один раз занести соответствующий код в регистр данных модуля, инициализировать режим ШИМ – импульсная последовательность будет воспроизводиться с заданными параметрами без вмешательства программы.

Модуль 4 может быть также запрограммирован как сторожевой таймер.

### 4.4. Дополнительное встроенное оборудование

#### 4.4.1. Модули преобразования данных

##### Аналоговый компаратор

Аналоговый компаратор осуществляет аппаратную операцию сравнения уровней двух внешних аналоговых сигналов. Он представляет собой электронную схему компаратора, интегрированную в микроконтроллер. Выходной логический уровень аналогового компаратора может быть опрошен программно или аппаратно.

### Модули АЦП и ЦАП

Модуль аналого-цифрового преобразователя (АЦП) предназначен для преобразования входной аналоговой информации в цифровую и передачи ее в процессор для дальнейшей обработки. Модуль цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) выполняет обратную операцию. Микроконтроллеры могут иметь несколько каналов ЦАП и АЦП. Преобразование информации на том или ином канале инициализируется соответствующей командой.

Преобразования начинаются выбором требуемого канала, который осуществляется записью номера канала в специальный служебный регистр. Аналоговый мультиплексор пропускает на выход сигнал выбранного канала. После этого подается сигнал фиксации на устройство выборки – хранения. Оно фиксирует уровень выбранного аналогового сигнала на весь период преобразования. Затем подается сигнал начала преобразования. АЦП представляет собой, как правило, АЦП последовательных приближений. Время преобразования составляет обычно единицы миллисекунд, однако в некоторых новейших микроконтроллерах (ADuC812 фирмы Analog Devices) может достигать до 5 мкс. После окончания преобразования АЦП выдает сигнал готовности, по которому его выходная информация записывается в буферный регистр, откуда она затем может быть считана процессором по соответствующей команде. При этом вырабатывается запрос на прерывание. Некоторые микроконтроллеры имеют блоки АЦП, способные работать в автоматическом режиме, опрашивая несколько каналов последовательно без участия процессора (80C166, Intel).

#### 4.4.2. Модули мониторинга состояния

Для минимизации повреждения кода программы или данных вследствие возникновения катастрофических программных или внешних сбоев системы микроконтроллеры комплектуются мониторными функциями. Наиболее часто встречаются две мониторные функции, конфигурируемые программно через специальные регистры.

#### Сторожевой таймер

Сторожевой таймер (Watch Dog Timer – WDT) служит для предотвращения зависания программы в необслуживаемых приложениях, т.е. в системах, работающих в автоматическом режиме без участия оператора. Источником счетных импульсов служит либо системный синхросигнал с фиксированной частотой (возможно, предварительно деленной на заданное число), либо автономный генератор импульсов фиксированной частоты. Высокая стабильность частоты генератора

импульсов не требуется, поэтому для его построения часто используют простой RC-генератор прямоугольных импульсов.

Действие сторожевого таймера разрешается установкой специального бита в регистре управления WDT. Сброс данного бита запрещает действие WDT. При наличии разрешения сторожевой таймер будет формировать системный сброс, если программа пользователя не обновляет его содержимое в интервале предустановленного времени. Интервал можно программно изменять от миллисекунд до секунд путем установки соответствующего значения в специальном регистре.

Технология защиты критического участка программы следующая. В начале защищаемого участка устанавливаются бит разрешения WDT и величина интервала ожидания. В конце участка производится запрет WDT или обновление его содержимого. В правильно работающей программе счетчик сторожевого таймера никогда не достигнет переполнения. Если же на защищаемом участке выполняемой программы произойдет сбой, то сторожевой таймер сформирует сигнал аппаратного сброса микроконтроллера, который возобновит свою работу с самого начала.

### Супервизор питания

Супервизор (монитор) питания – BROD или BROWN OUT – формирует запрос прерывания, когда напряжение питания падает ниже определённого порогового значения. Бит прерывания не будет очищаться в течение установленного интервала времени (например, не менее 256 мс) и до тех пор, пока напряжение источника не станет выше порогового значения.

Эта функция гарантирует, что пользователь успеет спасти рабочие регистры во избежание возможной потери данных из-за низкого питания. При наличии энергонезависимой памяти данных (EEPROM) супервизор питания является весьма эффективным средством защиты от сбоев по питанию. Выполнение программного кода не продолжится до тех пор, пока не установится номинальный уровень питания. Монитор прерывания обычно защищен от импульсных помех в цепи прерывания.

## 4.5. Критерии выбора микроконтроллера для проекта

Выбор конкретного типа микроконтроллера является одним из самых важных решений, от которого зависит успех или провал задуманного проекта. При выборе микроконтроллера необходимо учесть и оценить большое количество факторов. За основу последовательности продуманных действий, приводящих к окончательному решению,

может быть принят следующий алгоритм, составленный зарубежными специалистами<sup>1</sup>. Для того чтобы принять правильное решение, результаты действий, предусмотренные данным алгоритмом, необходимо анализировать в свете своих собственных навыков, знаний и требований.

**Цель анализа.** Основная цель анализа – выбрать наименее дорогой микроконтроллер (чтобы снизить общую стоимость системы), но в то же время удовлетворяющий спецификации системы, т.е. требованиям по производительности, надежности, условиям применения и т.д. Общая стоимость системы включает все: инженерные исследования и разработку, производство (комплектующие и труд), гарантийный ремонт, дальнейшее усовершенствование, обслуживание, совместимость, простоту в обращении и т.д.

**Процесс выбора.** Приступая к выбору, разработчик должен вначале задаться вопросом: *что должен делать микроконтроллер в моей системе?* Ответ на этот простой вопрос определяет требуемые для разрабатываемой системы характеристики микроконтроллера, что является определяющим фактором в процессе выбора.

Второй шаг – проведение поиска микроконтроллеров, которые удовлетворяют всем системным требованиям. Он обычно включает подбор литературы, технических описаний и технических журналов, а также консультации. В настоящее время стала вполне доступной информация о предлагаемых как традиционных, являющихся промышленным стандартом микроконтроллерах, так и новейших микроконтроллерах. Хорошо, если системным требованиям будет удовлетворять хорошо знакомый микроконтроллер. В противном случае должен быть проведен вторичный поиск, чтобы найти микроконтроллер, который наиболее полно удовлетворяет предъявляемым требованиям, имеет минимум внешних навесных компонентов и подходит по стоимости и габаритам. Однокристалльный микроконтроллер предпочтительней из-за надежности и низкой цены.

Последняя стадия выбора состоит из нескольких этапов, цель которых – сузить список приемлемых микроконтроллеров до одного. Эти этапы включают в себя анализ цены, доступности, средств разработки, поддержки производителя, стабильности производства конкретных микроконтроллеров и наличия других производителей или поставщиков. Для того чтобы прийти к оптимальному решению, возможно, весь процесс придется повторить несколько раз.

---

<sup>1</sup>Перевод ТОО "Торнадо Модульные Системы", Россия, Новосибирск.

### Критерии выбора

Основные критерии выбора микроконтроллера представлены ниже в порядке значимости. Каждый критерий детально объясняется в дальнейшем.

Пригодность для прикладной системы:

- Может ли система быть сделана на однокристальном микроконтроллере или ее можно реализовать на основе какой-либо специализированной микросхемы?
- Имеет ли микроконтроллер требуемое число контактов/портов ввода-вывода (в случае их недостатка он не сможет выполнить работу, а в случае избытка цена будет слишком высокой)?
- Имеет ли он все требуемые периферийные устройства: последовательные порты ввода-вывода, РПД, РПП, АЦП, ЦАП и т.д.?
- Имеет ли он другие периферийные устройства, которые не потребуются в системе?
- Обеспечивает ли ядро процессора необходимую производительность, т.е. вычислительную мощность, позволяющую обрабатывать системные запросы в течение всей жизни системы на выбранном прикладном языке? Слишком много – расточительно, слишком мало – не будет работать.
- Выделено ли в бюджете проекта достаточно средств, чтобы позволить себе использовать данный микроконтроллер. Для ответа на этот вопрос обычно требуются расценки поставщика. Если данный микроконтроллер неприемлем для проекта, все остальные вопросы становятся несущественными, и вы должны начать поиски другого микроконтроллера.

Доступность:

- Существует ли устройство в достаточных количествах?
- Производится ли оно сейчас?
- Что ожидается в будущем?

Поддержка разработчика:

- ассемблеры;
- компиляторы;
- средства отладки:
  - оценочный модуль (плата развития);
  - внутрисхемные эмуляторы;
  - насадки для логических анализаторов;
  - отладочные мониторы;
  - отладчики программ в исходных текстах.

#### Информационная поддержка:

- примеры применения;
- сообщения об ошибках;
- утилиты, в том числе *бесплатные* ассемблеры;
- примеры исходных текстов.

#### Поддержка приложений у поставщика:

- Есть ли специальная группа, которая занимается только поддержкой приложений?
- Есть ли инженеры, техники или продавцы?
- Насколько квалифицирован поддерживающий персонал, действительно ли он заинтересован в помощи вам при решении вашей проблемы?
- Существует ли телефонная и/или факсимильная связь?

#### Надежность фирмы производителя:

- компетентность, подтвержденная разработками;
- надежность производства, т.е. качество продукции;
- время работы в этой области.

#### Системные требования

Проведение системного анализа вашего проекта позволит определить и требования к микроконтроллеру. Какие требуются периферийные устройства? Применяются ли битовые операции или только числовые? Сколько требуется манипуляций для обработки данных? Должна ли система управляться по прерываниям, по готовности или по командам человека? Каким количеством устройств (битов ввода-вывода) необходимо управлять? Какие устройства из числа многих возможных типов I/O устройств должны контролироваться и управляться: терминалы, выключатели, реле, клавиши, сенсоры (температура, свет, напряжение и т.д.), звуковые устройства, визуальные индикаторы (LCD-дисплеи, LED), аналого-цифровые, цифро-аналоговые преобразователи? Одно или несколько напряжений питания требуется для системы? Насколько отказоустойчив источник питания? Будет ли работать устройство при напряжении вашей сети питания? Должны ли напряжения удерживаться в узком фиксированном диапазоне изменений или же система может работать при большой нестабильности? Какой рабочий ток? Изделие должно работать от сети или от батарей? Если от батарей – должны ли использоваться перезаряжаемые батареи? Если это так, то каково время работы без перезарядки и какое для нее требуется время?

Существуют ли ограничения по размеру, весу, эстетическим параметрам, таким как форма и/или цвет? Существуют ли такие специфические требования к условиям окружающей среды, как военные условия, температура, влажность, атмосфера (взрывоопасная, коррозионная и т.д.), давление/ высота? Пользовательское программное обеспечение должно базироваться на дисках или ROM? Изделие работает в реальном времени? Если да – собираетесь ли вы создать или приобрести ядро программ реального времени или, возможно, будет достаточно обычной широко используемой версии? Достаточно ли персонала и времени для развития вашего собственного ядра программ? Как будут оплачиваться авторские права и программное обеспечение? Для решения задач реального времени требуется большая исследовательская работа, чтобы удовлетворить их особым требованиям.

### Основные особенности микроконтроллера

Микроконтроллеры в целом можно разделить на группы 8-, 16- и 32-разрядных по размеру их арифметических и индексных регистров, хотя некоторые разработчики считают, что 8/16/32-разрядную архитектуру определяет разрядность шины. Способен ли дешевый микроконтроллер удовлетворить требованиям системы или требуется дорогой 16- или 32-разрядный? Может ли 8-разрядная программная эмуляция особенностей 16/32-разрядного микроконтроллера разрешить использование дешевого 8-разрядного, жертвуя размером исполняемого кода и скоростью? Например, может ли 8-разрядный микроконтроллер быть использован с программным макросом, чтобы эмулировать 16-разрядный аккумулятор и операции индексирования? Выбор прикладного языка (высокого уровня вместо ассемблера) может сильно повлиять на производительность системы, которая затем будет диктовать выбор 8/16/32-разрядной архитектуры, но ограничение цены может отвергнуть этот выбор.

Тактовая частота или скорость шины определяет, сколько вычислений может быть выполнено за единицу времени. Некоторые микроконтроллеры, в основном ранних разработок, имеют узкий диапазон допустимой тактовой частоты, в то время как другие могут работать вплоть до нулевой частоты. Иногда выбирается специфическая тактовая частота, чтобы сгенерировать другую тактовую частоту, требуемую в системе, например, для задания скоростей последовательной передачи. В основном вычислительная мощность, потребляемая мощность и стоимость системы увеличиваются с повышением тактовой частоты. Цена системы при повышении частоты увеличивается из-за стоимости не только микроконтроллера, но также и всех требующихся дополнительных микросхем, таких как ОЗУ, ПЗУ, программируемые логические интегральные схемы и контроллеры шины.

Рассмотрим технологию, с использованием которой изготовлен микропроцессор *n*-МОП (NMOS) и которая использовалась в микроконтроллерах ранних разработок, сравним с современной CMOS технологией с высоким уровнем интеграции (HCMOS). В отличие от ранних NMOS-процессоров, в HCMOS уровни сигналов изменяются в диапазоне от 0 до уровня напряжения питания. В связи с этим обстоятельством предпочтение отдается HCMOS процессорам. Кроме того, HCMOS потребляют меньшую мощность и, следовательно, меньше нагреваются. Геометрические размеры элементов в HCMOS меньше, что позволяет иметь более плотные схемы и, таким образом, работать при более высоких скоростях. Более плотный дизайн также уменьшает стоимость отдельного микроконтроллера, так как на кремниевой пластине того же размера можно получить большее количество чипов. По этим причинам сегодня подавляющее большинство микроконтроллеров производятся с использованием HCMOS-технологии.

### Возможности микроконтроллера

За счет достижения более высокого уровня интеграции и надежности при сохранении низкой цены все микроконтроллеры оснащены встроенными дополнительными устройствами. Эти устройства под управлением микропроцессорного ядра микроконтроллера выполняют определенные функции. Встроенные устройства обладают повышенной надежностью, поскольку они не требуют никаких внешних электрических цепей. К наиболее известным встроенным устройствам относятся устройства памяти и порты ввода-вывода, таймеры, системные часы/генератор. Отметим, что таймеры включают в себя как часы реального времени, так и таймеры прерываний. Следует принимать во внимание диапазон и разрешение таймера так же, как и другие функции (функции сравнения и/или захвата входных линий при измерении длительности сигнала). Средства ввода-вывода включают последовательные порты связи, параллельные порты (линии ввода-вывода), аналого-цифровые преобразователи, цифро-аналоговые преобразователи, драйверы жидкокристаллического дисплея или драйверы вакуумного флуоресцентного дисплея.

Другими, реже используемыми встроенными ресурсами являются внутренняя/ внешняя шина, таймер слежения за нормальным функционированием системы, сторожевая схема, система обнаружения отказов тактового генератора, возможность выбора конфигурации памяти и системный интеграционный модуль (SIM). SIM обычно заменяет внешнюю *склеивающую* логику, необходимую для организации взаимодействия микроконтроллера с внешними устройствами через заданные контакты микросхемы.



В большинство микроконтроллеров с внутрисхемными ресурсами включается блок конфигурационных регистров для управления этими ресурсами. Иногда сам этот блок может быть отражен в различные места карты памяти. Иногда имеется пользовательский и/или фабричный тестовый регистр, указывающий на то, какое значение производитель придает качеству. Наличие конфигурационных регистров приводит к проблеме случайного изменения желаемой конфигурации *блуждающим* кодом. Для предотвращения такой случайной возможности используется механизм *блокировки*. Иными словами, до того, как регистр конфигурации может быть изменен, биты в другом регистре должны быть изменены в определенной последовательности. Хотя регистры конфигурации могут сначала испугать своей сложностью, но они крайне ценны, поскольку обеспечивают высокую гибкость конфигурации при низкой стоимости, так что одному микроконтроллеру можно найти самые различные применения.

### Набор команд микроконтроллера

Необходимо внимательно изучить набор команд и регистров каждого микроконтроллера, так как они играют важнейшую роль в определении возможностей системы в целом. Изучили ли ваши программисты индексные режимы адресации в связи с предполагаемыми нуждами вашей системы? Есть ли такие специальные команды, которые будут использоваться в вашей системе, как умножение, деление и табличное интерполирование? Есть ли такие режимы энергосбережения для экономии батарейного питания, как стоповый, стоповый с низким потреблением мощности и/или с ожиданием? Есть ли какие-либо команды битовых манипуляций (установка бита, очистка бита, тест бита, изменение бита, команды перехода по установленному/очищенному биту), облегчающие применение микроконтроллера, или команды манипуляции с битовыми полями?

Будьте осторожны с замечательными командами, которые совершают много действий в одной команде. Реальным критерием производительности является количество тактовых циклов, требуемое для выполнения задачи, а не количество исполненных команд. Для справедливого сравнения лучше закодировать одинаковую программу и сравнить полное число выполненных тактовых циклов и использованных байтов. Есть ли в карте операционных кодов нереализованные инструкции, и что получится, если они случайно выполнятся? Обработает ли система подобную ситуацию корректно обработчиком *исключительных* событий или это приведет к выходу системы из строя?

### Прерывания микроконтроллера

Проверка структуры прерываний необходима всегда, когда создается система реального времени. Сколько линий или уровней прерывания имеется и сколько их требуется для вашей системы? Имеется ли маска уровней прерывания? Когда уровень прерывания подтвержден, есть ли индивидуальные векторы для программы обработчика прерывания или должны опрашиваться все возможные источники прерывания, чтобы определить источник? В критических по скорости применениях, таких как управление принтером, критерием выбора подходящего микроконтроллера может быть время реакции на прерывание, т.е. время от начала прерывания (в худшем случае – фазированного относительно тактового генератора микроконтроллера) до выполнения первой команды соответствующего обработчика прерывания.

### Характеристика вашей лаборатории

Критически проанализируйте имущественное состояние вашей лаборатории. Располагает ли ваша лаборатория достаточными средствами для обучения персонала тонкостям производства систем на основе микроконтроллеров и использования средств их разработки? Обладает ли ваша лаборатория достаточными средствами разработки или же вы будете покупать либо арендовать их? Если рассматривается новый микроконтроллер, существуют ли доступные средства разработки, такие как компиляторы языка высокого уровня, ассемблеры/компоновщики, прототипные модули и отладчики/эмуляторы? Достаточно ли легко расширяются имеющиеся у вас средства разработки для новых микроконтроллеров? Нужно ли нанимать и обучать дополнительный персонал для этого проекта? Можете ли вы привлечь эксперта для обучения остальных членов вашей команды? Позволяет ли вам бюджет наем дополнительного постоянного штата и/или работников по контракту? Удовлетворена ли ваша лаборатория микроконтроллерами, имеющимися в настоящее время на рынке, а также обслуживанием?

### Характеристика поставщика

Третий шаг в сокращении списка технически приемлемых микроконтроллеров – проверка их производителей и поставщиков, т.е. компаний, с которыми вы планируете вступить в длительные отношения на взаимовыгодной основе. Поставщик может быть производителем микроконтроллеров или дилером, который является полномочным представителем нескольких производителей. Наилучшим образом удовлетворит ваши запросы поставщик с более широким ассор-

тиментом продуктов и репутацией высокого качества, надежности, обслуживания и своевременной поставки при справедливой цене. Кроме того, чем больше продуктов вы покупаете у одного поставщика, тем большие преимущества вы получаете в отношении цены, услуг и поддержки. Всегда имейте в виду, что, хотя долларовой объем вашей покупки может казаться вам высоким, это всегда относительная величина к общему объему продаж поставщика. Поставщики, которые снабжают не только микроконтроллерами, но и памятью (RAM, ROM), дискретными устройствами (транзисторами, диодами и т.д.), стандартными цифровыми логическими устройствами (7400, 74НС00 и т.д.), специальными микросхемами, заказными приборами, специализированными микросхемами и программируемыми логическими устройствами, смогут лучше удовлетворить ваши растущие запросы. Имеет ли производитель и/или поставщик какие-либо награды за качество, надежность, сервис и/или поставку? Не следует слишком доверять самоприсуждаемым наградам.

### Характеристика производителя

Другими критериями в выборе производителя/поставщика микроконтроллера являются стабильность, его монопольное положение, сведения из литературы и поддержка. Стабильность может быть надежно проверена путем установления стажа работы производителя в этой области и его достижений. Отдел снабжения и кредитный отдел вашей компании могут помочь вам в этих вопросах. Монопольное положение поставщика, к сожалению, обычно норма, так как большинство производителей микроконтроллеров редко пересекаются в производстве с другими производителями. Если производитель имеет хорошие показатели в снабжении, доставке и цене, то его монопольное положение не должно являться препятствием.

### Поддержка производителя

Прямая поддержка производителя включает маркетинг/продажи и прикладную инженерную поддержку. Когда вы звоните, обращаясь за помощью, можете ли вы прямо связаться с тем, кто вам нужен, или вам приходится играть в *глухой телефон*? Передаются ли звонки немедленно? Есть ли номер факса? Сколько телефонных линий доступно? Телефонные линии всегда заняты? Есть ли у них система коммутации или секретарь передает ваши сообщения ответственному за поддержку? В какие часы работает персонал поддержки? Имеют ли они другие обязанности, кроме поддержки? Каков количественный состав обслуживающего персонала? С готовностью ли ему поможет заводской персонал, а именно специалисты по готовой продукции, по

производству, по качеству, электронщики, программисты? Дружат ли заводские инженеры с персоналом поддержки? Знающий ли персонал поддержки, имеет ли нужные навыки, и выполняют ли они своевременно то, что обещали, например решить вашу проблему или выслать вам что-нибудь? Приходит ли это обычной почтой, платите ли вы за быструю доставку? Есть ли у производителя электронная доска объявлений или страничка в Internet, на которых можно получить такую информацию, как прикладные программы, новости о продуктах, свежие программы, исходные тексты, сообщения об ошибках, электронную почту, конференции? Какие поддерживаются скорости передачи? Сколько телефонных линий доступно? Какие часы работы? Нужна ли вам особая марка компьютера и/или модема для доступа? Есть ли системный оператор (sysop)?

### Информационная поддержка

Литература охватывает широкий набор печатных материалов, которые могут помочь вам сделать правильный выбор. Она включает информационные выпуски производителя, такие как технические описания и рекомендации по применению, а также издания, доступные в местном книжном магазине и/или библиотеке. Издания из местного магазина и/или библиотеки не только указывают на популярность производителя/микроконтроллера, но и предлагают беспристрастные мнения, если они высказаны независимыми от производителя авторами.

### Заключительный этап выбора

Для окончательного шага в процессе выбора постройте таблицу, в которой расположите рассматриваемые микроконтроллеры в одной графе, а их важные характеристики – в другой. Затем приложите бланки технических описаний производителей, чтобы получить справедливое наглядное сравнение. Некоторые производители имеют предварительно сделанные сравнительные описания их микроконтроллеров, которые упростят вашу задачу; но проверьте по техническим описаниям, все ли новейшие продукты представлены. Среди возможных характеристик – цена (на ожидаемый объем продукции, включая предсказание будущей цены, т.е. уменьшится ли цена, если вы вольетесь в производство?), RAM, ROM, EPROM, EEPROM, таймер(ы), АЦП, ЦАП, последовательные порты, параллельные порты, скорость шины (минимальная/максимальная), специальные команды (умножение, деление и т.д.), число доступных прерываний, время отклика прерывания, размер корпуса и его тип, требования по питанию и другие детали, важные для устройства вашей системы.

Если после всего этого у вас в списке все еще больше одного микроконтроллера, рассмотрите возможности расширения системы, а также стоимость. Какое расширение, по вашему мнению, может понадобиться в будущих версиях этого продукта? И наконец, рассмотрите цену: если два микроконтроллера стоят одинаково, но один предлагает немного больше возможностей, которые не требуются сегодня, но сделали бы будущие расширения доступными без добавочных затрат, выбирайте этот микроконтроллер.

Окончательный выбор подходящего микроконтроллера для вашего проекта – нелегкое решение. Микроконтроллеры стали более сложными устройствами с тех пор, как были добавлены внутрисхемные ресурсы. И с тех пор, как процесс движется в сторону все большей внутрисхемной интеграции внешних ресурсов для понижения стоимости системы, решение становится все более сложным. Данный алгоритм не навязывает разработчику какой-либо выбор, его цель – указать все возможные критерии выбора, которые должны быть приняты во внимание в процессе принятия решения.

## 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Конкретный набор встроенных устройств, их характеристики и возможные режимы работы зависят от выбранной модели микроконтроллера. В табл. 5.1 сопоставлены параметры микроконтроллеров нескольких различных типов. Рассмотрим более подробно характеристики микроконтроллеров разных семейств.

Таблица 5.1. Сопоставление параметров некоторых микроконтроллеров

| Тип МК                 | РПП              | РПД |     | $f_T/n$ | I/O | Тай-мер | Дополнительное оборудование                                                                                                                            |                   |
|------------------------|------------------|-----|-----|---------|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                        |                  | 1   | 2   |         |     |         |                                                                                                                                                        |                   |
| PIC12C508              | 512×12           | 25  | –   | 4/4     | 6   | 1       | 2×I2C/SPI, 2ЦАП<br>8-кан.16-бит-АЦП<br>8-кан.10-бит-АЦП,<br>ИОН, ан.комп., WDT<br>USART<br>5кан.10-бит-АЦП CAN<br>2ан.комп. MI2C/MSPI<br>WDT ШИМ USART |                   |
| PIC15C55               | 1024×12          | 24  | –   | 20/4    | 20  | 1       |                                                                                                                                                        |                   |
| PIC1400                | 4096×14          | 192 | –   | 20/4    | 22  | 2       |                                                                                                                                                        |                   |
| PIC16F676              | 1024×14<br>Flash | 62  | 128 | 20/4    | 12  | 2       |                                                                                                                                                        |                   |
| PIC17C44               | 9196×16          | 454 | –   | 33/4    | 33  | 4       |                                                                                                                                                        |                   |
| PIC18F248              | 8192×16<br>Flash | 768 | 256 | 40/4    | 23  | 4       |                                                                                                                                                        |                   |
| AT90S1200              | 1К               | –   | 64  | 12/1    | 15  | 1       |                                                                                                                                                        | Ан.комп/SPI       |
| AT90S4414              | 4К               | 256 | 256 | 8/1     | 32  | 2       |                                                                                                                                                        | Ан.комп. SPI UART |
| ATmega103              | 128К             | 4К  | 4К  | 6/1     | 48  | 3       |                                                                                                                                                        | Ан.комп. SPI UART |
| SX28AC100              | 2048×12          | 136 | –   | 100/1   | 20  | 1       |                                                                                                                                                        | Ан.комп           |
| SX52BD                 | 4096×12          | 256 | –   | 50/1    | 40  | 3       | Ан.комп                                                                                                                                                |                   |
| AT89C1051              | 1К               | 64  | –   | 24/6    | 15  | 2       | Ан.комп                                                                                                                                                |                   |
| AT89C51                | 4К               | 128 | –   | 24/8    | 15  | 2       | UART                                                                                                                                                   |                   |
| KP1816BE51             | 4К               | 128 | –   | 12/6    | 32  | 2       | UART                                                                                                                                                   |                   |
| KP1878BE1<br>(An15E03) | 1024×16<br>Flash | 128 | 64  | 4/2     | 12  | 1       | WDT                                                                                                                                                    |                   |
| ADuC812BS              | 8К<br>Flash      | 256 | 640 | 12/6    | 32  | 3       | WDT, UART<br>2ЦАП, I2C/SPI<br>8-кан.12-бит-АЦП                                                                                                         |                   |
| Z86E31                 | 2К               | 125 | –   | 16/6    | 24  | 2       | Ан.комп                                                                                                                                                |                   |
| Z86E33                 | 2К               | 237 | –   | 12/6    | 24  | 2       | Ан.комп                                                                                                                                                |                   |

**Примечание.** РПП – резидентная память программ, указана емкость ПЗУ и разрядность, если разрядность отличается от 8 бит; РПД – резидентная память данных: 1 – ОЗУ и 2 – EEPROM;  $f_T$  – тактовая частота, МГц;  $n$  – число машинных тактов на команду; I/O – число линий ввода-вывода; в колонке *Дополнительное оборудование* указано дополнительное встроенное оборудование.

## 5.1. Микроконтроллеры фирмы Microchip

ПИС-микроконтроллеры разрабатываются и выпускаются американской фирмой Arizona Microchip Technology Inc. (Microchip). История развития этих микроконтроллеров насчитывает уже около 30 лет.

### 5.1.1. Историческая справка

В 1965 году компания General Instruments (GI) основала Отделение микроэлектроники (Microelectronics Division) и начала разрабатывать первые конкурентоспособные образцы перепрограммируемых запоминающих устройств с ультрафиолетовым (EPROM) и электрическим (EEPROM) стиранием. Впоследствии отделение GI Microelectronics Division выполняло разработку широкой гаммы цифровых и аналоговых устройств. Этим отделением разработаны, в частности, семейства звуковых процессоров AY3-xxx, AY5-xxx. В 70-80-е годы процессоры GI AY3-8910 и AY3-8912 применялись практически во всех микрокомпьютерах “Синклер”, “Ямаха” и MSX.

В начале 70-х годов фирма GI разработала и выпустила 16-разрядный микропроцессор CP1600. Для ускорения операций ввода-вывода в микропроцессорных системах с данным процессором фирма GI в середине 1975 года разработала специальный однокристалльный контроллер ввода-вывода – Peripheral Interface Controller (сокращенно ПИС). Основное назначение этого контроллера – ускоренное выполнение операций ввода-вывода при сравнительно небольшом объеме вычислительных операций. Это обусловило ограничения на его систему команд. Архитектура нижнего ряда сегодняшних ПИС-микроконтроллеров PIC16C5x соответствует архитектуре, разработанной в 1975 году. Представленный в 1975 году ПИС-контроллер производился по NMOS-технологии и был доступен только в масочном варианте.

В начале 80-х годов фирма GI произвела свою реструктуризацию, сконцентрировавшись на разработке силовых полупроводников. Отметим, что в настоящее время компания General Instruments под именем General Semiconductors продолжает весьма успешно работать в этом секторе рынка. Отделение GI Microelectronics Division было переименовано в GI Microelectronics Inc и существовало одно время как отдельный филиал, а затем было продано вместе с заводом в г. Чандлер штата Аризона (Chandler, Arizona). Это была длительная работа представителей рискованного капитала: они избавились от производства большинства микросхем линеек AY3, AY5 и других и сконцентрировались на разработках и производстве ПИС-микроконтроллеров и различных видов запоминающих устройств EPROM и EEPROM с параллельным и последовательным доступом. После переименования предприятие получило название Arizona Microchip Technology Inc.

(Microchip). Компания Microchip четко позиционирована на рынок встраиваемых систем управления (Embedded Control) и сейчас является одной из лидирующих компаний в своей области. Так, если в 1990 году по объему продаж она была на 20-м месте, в 1993-м – на 8-м, то в 1997 году, несмотря на сильнейшую конкуренцию со стороны фирмы Atmel с ее новыми микроконтроллерами типа AVR, компания Microchip вышла на 2-е место, пропустив впереди себя только фирму Motorola.

### 5.1.2. Основные особенности микроконтроллеров

Основные преимущества микроконтроллеров PIC заключены в их названии: аббревиатура PIC означает Peripheral Interface Controller, т.е. быстрый процессор ввода-вывода. Очень часто возникает необходимость в небольшом дешевом микропроцессоре, обладающем ограниченными вычислительными возможностями, низким энергопотреблением, развитой периферией и способном осуществлять ввод-вывод сигналов с большой скоростью. Это, например, питающееся от телефонной линии оборудование (АОНы, микроАТС), портативные приборы с батарейным питанием, средства автомобильной сигнализации, АЦП, подключаемые к последовательному порту компьютера и от него же и питающиеся, медицинские приборы и т.п. PIC-контроллеры выпускаются как в больших, так и малых корпусах и имеют низкую стоимость. Например, микроконтроллер PIC12C $\times\times$  собран в корпусе DIP (8-выводов) со встроенным тактовым генератором, цепочкой сброса и 6-ножками ввода-вывода. Контроллер PIC16C505 имеет корпус с 14-выводами, встроенным генератором и стоит 49 центов.

Большинство полезных качеств PIC-контроллеров сосредоточено в трех словах: CMOS, RISC, Harvard. Современная CMOS (КМОП) технология позволяет выпускать микроконтроллеры, работающие на частотах от 0 Гц до 40 МГц. Потребляемый ток, который зависит от частоты, составляет единицы миллиампер для частот 1...10 МГц и десятков микроампер для более низких частот. Перевод в спящий режим (SLEEP) доводит потребление до единиц микроампер. Благодаря RISC-системе команд и гарвардской архитектуре быстроедействие даже на низких частотах остается достаточно высоким и требуется всего 4 такта на одну команду (8 тактов – для команд переходов). Для сравнения отметим, что в MCS51 машинный цикл составляет 12 тактов, а команды могут иметь несколько машинных циклов.

При традиционной архитектуре команды имеют переменную длину, а в RISC-архитектуре длина команд постоянна. Это обуславливает высокое быстроедействие и экономию программной памяти. Три семейства PIC контроллеров имеют 12-, 14- и 16- разрядные команды и соответственно 33, 35 и 58 инструкций.



### 5.1.3. Встроенные аппаратные средства

Кроме экономного использования программной памяти, высокого быстродействия, низкого потребления и широкого диапазона питания (от 2 до 6 В для некоторых устройств), еще одним бесспорным достоинством PIC-контроллеров является развитость встроенных аппаратных средств. В большинстве контроллеров применен универсальный тактовый генератор, режим которого программируется на работу с одним из трех типов внешних кварцевых резонаторов (высокочастотный, среднечастотный и низкочастотный) или на режим с внешней RC-цепочкой (если стабильность тактовой частоты не критична). Некоторые типы контроллеров имеют режим встроенного генератора. При этом не требуется внешних цепей и не используются выводы корпуса.

Кроме тактового генератора, во всех контроллерах имеется внутренний RC-генератор, который используется для работы сторожевого таймера Watch dog. Этот генератор, если он включен при программировании, тактирует специальный счетчик, который должен сбрасываться программой через определенные промежутки времени, не превышающие заданный временной интервал. Если в результате зависания или некорректности работы программы счетчик не будет вовремя сброшен, произойдет перезапуск контроллера. Особым случаем применения сторожевого таймера является дежурный режим. Контроллер может находиться в состоянии “спячки” (SLEEP) с крайне низким энергопотреблением. При этом через временной интервал, равный периоду срабатывания сторожевого таймера, он может выходить из “спячки”, просматривать входные сигналы и, если ничего не произошло, возвращаться в состояние SLEEP. Если же произошли определенные изменения состояния входов, то микроконтроллер переходит к программе обработки, выполнив которую, он возвращается в состояние SLEEP. Если для обработки не требуется высокое быстродействие, то можно просто использовать низкую тактовую частоту. Однако когда нужно микропотребление энергии в среднем и большое быстродействие на некоторое время, то лучший выход – это именно использование спящего режима с периодическим пробуждением без или совместно с прерыванием по изменению. Сигнал СБРОС (MCLR) может формироваться внешними или внутренними цепями, что упрощает и удешевляет схемотехнику. Практически все контроллеры имеют хотя бы один счетчик-таймер, который может использоваться для счета внешних импульсов, генерации периодических прерываний или отсчета временных интервалов.

Связь с внешним миром осуществляется при помощи портов ввода-вывода, которые в PIC-контроллерах имеют свои особенности. В PIC-контроллерах каждому порту соответствует два регистра – данных и

направления (TRIS). При этом в зависимости от содержания регистра направления каждый вывод может быть индивидуально запрограммирован или на ввод, или на вывод. На всякий случай, во многих контроллерах имеется один вывод с открытым стоком, который требует подключения нагрузки при работе на выход. Все входы контроллеров защищены от перенапряжения диодами на 0 и V<sub>CC</sub> и имеют высокую нагрузочную способность (20-25 мА). Некоторые порты имеют индивидуально подключаемые к входам источники тока, играющие роль подтягивающих (pull-up) резисторов. Отдельные входы могут быть запрограммированы так, что вызывают прерывание при изменении своего состояния (доступно также в спящем режиме).

Для работы с аналоговыми сигналами определенные типы контроллеров имеют встроенные АЦП или компараторы. Существуют контроллеры со встроенным управлением жидко-кристаллическими индикаторами, выходами ШИМ, разнообразными последовательными интерфейсами (синхронный, асинхронные I<sup>2</sup>C, SPI), имеющими встроенную энергонезависимую память данных, для запоминания разных констант, настроек и т.п. Для работы вместе с более мощными микропроцессорными системами некоторые контроллеры имеют PSP (Parallel Slave Port).

### 5.1.4. Микроконтроллеры с Flash-памятью программ

Номенклатура микроконтроллеров с электрически перезаписываемой памятью программ непрерывно увеличивается. В настоящее время выпускается уже достаточно широкая номенклатура PIC-микроконтроллеров с Flash-памятью программ. В маркировке таких контроллеров обычно присутствует буква (F). К этой группе относятся, например, микроконтроллеры PIC12F629, PIC12F675, PIC16F87х, PIC16F87хА и др. Благодаря применению современных технологий большинство PIC-микроконтроллеров фирмы Microchip обеспечивают 100 тыс. циклов перезаписи Flash-памяти программ и 1 млн. циклов перезаписи EEPROM-памяти данных.

С середины 2002 года Microchip Technology Inc. выпускает 14-выводные Flash-микроконтроллеры, имеющие в своем составе 8-канальный 10-разрядный АЦП с программным выбором источника опорного напряжения (ИОН), компаратор с внутренним программируемым 32-уровневым источником опорного напряжения, прецизионный ( $\pm 2\%$ ) внутренний тактовый генератор и функцию быстрого старта. Память микроконтроллеров PIC16F630 и PIC16F676 выполнена по технологии PMOS Electrically Erasable Cell (PEEC).

Микроконтроллеры PIC16F630 и PIC16F676 программно совместимы с 8-выводными контроллерами PIC12F629 и PIC12F675. Это позволяет проектировщикам без особых проблем перейти на микро-

контроллер с большим числом портов ввода-вывода. При этом снижаются затраты на проектирование и разработку устройства.

PIC16F630 и PIC16F676 имеют малый ток потребления в SLEEP-режиме (100 нА) во всем диапазоне напряжений питания (от 2.0 до 5.5 В). Быстрый запуск (2 мкс) и возможность работы таймера от внешнего кварцевого генератора в SLEEP-режиме делают микроконтроллеры PIC16F630 и PIC16F676 идеальными для устройств с пониженным энергопотреблением. Дополнительные периферийные модули могут быть программно включены или выключены с целью уменьшить энергопотребление.

Небольшие габаритные размеры, низкая стоимость и наличие модуля АЦП позволяют использовать микроконтроллеры PIC16F630 и PIC16F676 в портативных приборах, игрушках, автомобильных устройствах и т.д. Ориентировочная стоимость кристаллов при крупном заказе: PIC16F630 – \$0.79, PIC16F676 – \$0.91.

С середины 2003 года доступны 8-разрядные высокопроизводительные Flash-микроконтроллеры 18-й серии, например PIC18FXX8, имеющие от 28 до 80 выводов в зависимости от модификации. Все эти микроконтроллеры имеют CAN2.0В интерфейс. Приведем краткую характеристику PIC18F248. Микроконтроллер имеет сброс при включении питания (POR), таймер включения питания (PWRT), таймер запуска генератора (OST), программируемый сброс по снижению напряжения питания (BOR), сторожевой таймер (WDT) с собственным встроенным RC-генератором для повышения надежности работы, режим экономии энергии (SLEEP) и возможность выбора источника тактового сигнала. Контроллер позволяет программировать на плате через последовательный порт с использованием двух выводов (ICSPT), проводить отладку на плате через последовательный порт с использованием двух выводов (ICD), а также имеет программируемую защиту кода и возможность самопрограммирования. Встроенные запоминающие устройства контроллера рассчитаны на не менее чем 1 тыс. циклов записи/стирания Flash-памяти программ и 100 тыс. циклов записи/стирания памяти данных EEPROM с периодом хранения данных до 40 лет.

### 5.1.5. Программирование микроконтроллеров

Большинство PIC-контроллеров, не имеющих Flash-память, выполнено в исполнении OTP, т.е. однократно программируемый кристалл. Для их отладки используется специальный отладочный вариант JW с кварцевым окошком для стирания ультрафиолетовым излучением. Без крайней необходимости при отладке не следует устанавливать биты защиты (секретности).

Запись программы в кристалл может осуществляться двумя методами – параллельным и последовательным. Старое семейство (16C5××) и первые микросхемы серии 17C××× имели только параллельный режим записи, все остальные, кроме параллельного, имеют последовательный режим, который позволяет использовать более простые программаторы и осуществлять запись программы в установленную в плате микросхему (ISP – внутрисхемное программирование). Внутрисхемное программирование обеспечивает большую гибкость при производстве радиоэлектронных устройств, позволяя уменьшить стоимость обновления программного обеспечения, выполнить калибровку устройства, записать идентификационную и калибровочную информацию.

Для Flash-микроконтроллеров имеется мощный и недорогой внутрисхемный отладчик MPLAB-ICD2, работающий под управлением интегрированной среды проектирования MPLAB-IDE. MPLAB-ICD2 позволяет разработчику выполнять отладку текста программы по шагам и при этом наблюдать за состоянием регистров. Выполнение программы может быть запущено в реальном масштабе времени или в режиме анимации с указанием точки останова.

По конструктивному исполнению PIC-контроллеры выпускаются в обычном пластмассовом корпусе (DIP), керамическом корпусе с окном (JW, отладочные варианты), различных корпусах типа SIOC, PLCC, PQFP и других, а также в виде кристаллов для гибридных интегральных схем. Микроконтроллеры PIC16F630 и PIC16F676 выпускаются в корпусах 14TSSOP, 14SOIC и 14DIP, а PIC18F248 – в корпусах 28DIP и 28SOIC 300mil.

### 5.2. Микроконтроллеры фирмы Scenix

Американская компания Scenix Semiconductor Inc. (Scenix) не стала изобретать принципиально новый микроконтроллер со своей системой команд, а, имея патент на быструю флэш-технология, кардинально переработала и улучшила микроконтроллер семейства PIC16Cх фирмы Microchip. Это позволило создать микроконтроллеры с производительностью более 50 миллионов операций в секунду (mips), анонсированные в декабре 1997 года. Ещё через год появилась версия с производительностью 100 mips. С 2000 года выпускаются усовершенствованные микроконтроллеры SX48BD/SX52BD с расширенной памятью программ и данных.

SX-микроконтроллеры фирмы Scenix представляют собой 8-рядные высокоскоростные микроконтроллеры с внутренней Flash-памятью программ объёмом 2К слов. Они выполнены с использованием современных методов проектирования и технологий и имеют

полностью статическую КМОП-реализацию, обеспечивающую работу при тактовых частотах от 0 до 50 МГц. RISC-подобная архитектура использует только 43 команды, большинство из которых выполняются за один такт. Команды перехода требуют два или три такта, а для команды IREAD требуется один или четыре такта при работе в режиме совместимости или в турборежиме.

Благодаря многим новым решениям в проектировании и производстве микроконтроллеры SX обеспечивают высокую экономическую эффективность. Тестирование микроконтроллеров SX показывает, что большинство кристаллов при гарантированной частоте 50 МГц могут работать на частотах до 150 МГц. Высокое быстродействие микроконтроллеров позволяет использовать их в качестве периферийных устройств, заменяя аппаратное решение программным. Такое решение обеспечивает уменьшение числа компонентов, время разработки, увеличивает гибкость проектов и в конечном счете – стоимость системы. Благодаря наличию специального интерфейса микроконтроллеры имеют возможность программирования непосредственно в устройстве.

### 5.2.1. Основные особенности микроконтроллеров

Основные характеристики SX-микроконтроллеров следующие:

- скорость выполнения команд – 50 миллионов операций в секунду при тактовой частоте 50 МГц;
- время выполнения каждой команды – один машинный такт;
- Flash-память программ емкостью  $2048 \times 12$  бит с ресурсом 10 тыс. циклов записи;
- совместимость по программному коду и выводам с контроллерами PIC16C5x;
- программирование на плате через выводы OSC;
- пошаговый режим и останов в контрольных точках с использованием вывода OSC2;
- внутренний RC-генератор частотой  $4 \text{ МГц} \pm 8\%$  с возможностью деления частоты (коэффициент деления от 1 до 128);
- выбираемый пользователем источник тактовой частоты (внутренний RC-генератор, внешний генератор, кварцевый генератор, внешний RC-генератор);
- встроенный аналоговый компаратор;
- схема перезапуска при уменьшении напряжения питания (4.2 В, отключаемая);
- многоходовая схема пробуждения контроллера из экономичного режима (8 выводов);
- все выходы обеспечивают втекающий/вытекающий ток до 30 мА;

- полный комплект средств разработки фирмы Parallax, Inc.

Особенности центрального процессора:

- цикл выполнения команды – 20 нс при частоте 50 МГц;
- полностью статическое построение обеспечивает работу на частотах от 0 до 50 МГц;
- 33 команды, совместимые с командами контроллера PIC16C5х, и 10 дополнительных команд для повышения эффективности кода;
- глубокий аппаратный стек подпрограмм (8 уровней);
- одноуровневый стек прерываний;
- фиксированное время реакции на прерывание: 60 нс на внутреннее и 100 нс на внешнее при тактовой частоте 50 МГц;
- аппаратное сохранение значений регистров PC, W, STATUS и FSR при прерывании;
- регистр W в пространстве RTCC (таймера/счетчика) обеспечивает дополнительную гибкость.

Особенности периферийных устройств и ввода-вывода:

- каждый вывод можно запрограммировать как вход или выход;
- каждый вход может быть запрограммирован на TTL или КМОП уровни;
- к каждому выводу можно подключить внутреннюю нагрузку (около 20 кОм на вывод питания VDD);
- для портов В и С можно выбрать входные триггеры Шмитта;
- все выходы обеспечивают втекающий/вытекающий ток до 30 мА.

### Архитектура

Микроконтроллеры SX имеет гарвардскую архитектуру, т.е. программный код и память данных размещены в разных областях памяти и обращение к ним обеспечивается независимыми шинами.

Расширенный конвейер *выборка – декодирование – выполнение – запись* обеспечивает выполнение команды за один такт. В конвейере микроконтроллеров команды обрабатываются за четыре стадии. На первой стадии команда выбирается из памяти. На второй стадии команда декодируется, в то время как следующая команда выбирается из памяти. На третьей стадии команда выполняется, а на четвертой её результат записывается в память. Если конвейер загружен полностью, то все команды выполняются за один такт. Это обеспечивает цикл выполнения команды 20 нс при тактовой частоте 50 МГц.

Flash-память программ микроконтроллеров SX имеет информационную емкость  $2048 \times 12$  бит. Память данных включает 136 байт статической памяти и регистры специальных функций. Статическая память

допускает прямую и косвенную адресацию. Все регистры специальных функций (включая регистр W) отображены в память данных.

Восьмибитное АЛУ выполняет арифметические и логические операции. Регистр W является рабочим регистром АЛУ. Обычно в нём хранится один из операндов в команде с двумя операндами. В зависимости от выполняемой команды АЛУ может изменять флажки переноса (C), нуля (O) и переноса цифры (DC).

Микроконтроллеры SX имеют специальные возможности, которые обеспечивают снижение стоимости системы и пониженное энергопотребление. Таймер сброса по подаче питания и сброса устройства устраняют необходимость применения внешней схемы сброса. Имеется возможность выбора одной из пяти конфигураций тактового генератора, в том числе программируемого внутреннего генератора 4 МГц. Энергосберегающий режим SLEEP, сторожевой таймер и возможность защиты кода уменьшают стоимость системы и улучшают её целостность.

### Программирование и отладка

Микроконтроллеры SX удобны для разработки программ. Поскольку для программ используется Flash-память, нет необходимости в применении ультрафиолетовых устройств стирания. Проблемы, которые могут возникать при стандартной эмуляции с использованием отдельного внешнего контроллера, в данном случае отсутствуют.

Микроконтроллеры SX имеют все встроенные средства, необходимые для эмуляции непосредственно на плате, что обеспечивает надёжные и дешёвые решения для эмуляции встроенных приложений. Микроконтроллеры обеспечиваются интегрированной средой обработки SX-Keu, включающей редактор, макроассемблер, отладчик и программатор. Система SX-Keu поставляется фирмой Parallax Inc., которая является ведущим разработчиком инструментальных средств программирования для семейства 8-разрядных микроконтроллеров PIC фирмы Microchip.

### Приложения

Архитектура микроконтроллеров SX подходит для многих известных приложений, таких как контроллеры процессов, модули удалённой телеметрии, модули охраны/мониторирования, однако их быстрое действие открывает целый новый мир возможностей. При производительности до 50 миллионов операций в секунду аппаратные периферийные устройства могут быть заменены на программное обеспечение. Эти модули программного обеспечения называются *виртуальными периферийными устройствами*. Они обеспечивают уменьшение чи-

сла компонентов, время разработки, увеличивают гибкость проектов и, в конечном счете, стоимость системы.

Виртуальные периферийные модули:

- интерфейсы: последовательный, параллельный, I<sup>2</sup>C, Microwire, ( $\mu$ -Wire), Dallas  $\mu$ -Wire, SPI, DMX-512, X-10, IR;
- генерация и измерение частоты;
- многозадачный режим, прерывания и работа с сетями;
- контроллеры динамической памяти;
- синтез звука;
- фазо-импульсная и широтно-импульсная модуляция;
- дельта-сигма АЦП;
- спектральный анализ;
- передача/распознавание тонового набора (DTMF) в телефонии;
- 300/1200 bps модем;
- квадратурный кодер/декодер;
- видеоконтроллер.

### Экономичный режим

Микроконтроллеры SX имеют экономичный режим, который инициализируется с помощью команды SLEEP. Вывести микроконтроллер из этого состояния могут следующие события: сигнал переполнения сторожевого таймера (WDT), соответствующий переход внешнего сигнала на одном из выводов с функцией многовыводного пробуждения или внешний сигнал сброса на выводе MCLR. Функция многовыводного пробуждения доступна на выводах порта В. В экономичном режиме может работать только сторожевой таймер. Если при переходе в экономичный режим сторожевой таймер включен, то после выполнения команды SLEEP он сбрасывается в ноль, бит T0 регистра состояния устанавливается в 1, а бит PD сбрасывается в 0. Для достижения максимально низкой мощности потребления в экономичном режиме сторожевой таймер должен быть выключен, пробуждение микроконтроллера при этом должно осуществляться одним из двух альтернативных методов.

### Поддержка прерываний

Микроконтроллеры SX поддерживают как внутренние, так и внешние прерывания. До восьми независимых внешних прерываний доступно через функцию многовыводного пробуждения без перевода микроконтроллера в экономичный режим. Внутреннее прерывание может быть сгенерировано при переполнении таймера/счетчика. Все



прерывания имеют одинаковый приоритет. Поступившие прерывания обрабатываются последовательно. После начала обработки одного прерывания другие прерывания блокируются до возврата его из обработки. Счётчик команд (PC) помещается в стек прерывания; состояния регистров FSR, состояния (STATUS) и W также сохраняются. Вектор подпрограммы обработки прерываний имеет адрес 0. При выполнении подпрограммы обслуживания прерываний опрашиваются регистры WKPND\_B, RTCC (таймер/счетчик) и STATUS, и в результате анализа изменения их состояния выполняются соответствующие действия. При возвращении из процедуры обработки прерывания содержимое регистра счетчика команд и других сохранённых регистров восстанавливается. Микроконтроллеры имеют две команды выполнения возврата из прерывания: RETI и RETIW. Команда RETI восстанавливает значения вышеуказанных регистров из стека и специальных теневых регистров. Команда RETIW кроме действий, выполняемых командой RETI, модифицирует регистр RTCC, суммируя с ним двоичное дополнительное значение регистра W. Обе эти команды разблокируют прерывания от всех источников.

### Организация памяти

**Память программ.** 2К слов памяти программы разделены на четыре страницы по 512 слов. Последовательность команд управляется через счетчик команд (PC), который автоматически увеличивается при выполнении линейных команд. Команды перехода могут требовать предустановки битов PA0 и PA1 регистра состояния. Поэтому для лёгкости программирования и увеличения производительности в систему команд была добавлена команда Page, выполняющая эту операцию; 8-уровневый стек из 11-битных слов обеспечивает работу до 8 вложенных подпрограмм.

**Память данных.** Сто тридцать шесть регистров памяти данных составлены из восьми банков по 16 регистров плюс восемь глобальных регистров. Все регистры могут быть адресованы как непосредственно, так и косвенно (с использованием регистра FSR). Регистры специальных функций отображаются в память данных, так что они могут быть считаны и записаны, как все остальные регистры.

### Программирование памяти программ

Микроконтроллер SX был разработан с обеспечением возможности программирования на плате. Иными словами, после того как микроконтроллер установлен на печатной плате устройства, его мож-

но программировать непосредственно в устройстве, используя интерфейс с 4 выводами и средства разработки SX-Key. В большинстве случаев нет необходимости в иных добавлениях к устройству, кроме 4-контактного разъёма.

Помимо напряжения питания и общего провода только два вывода (OSC1 и OSC2) используются при программировании. Вывод OSC1 используется для подачи напряжения программирования  $V_{PP} = 12.5 \text{ В}$ , вывод OSC2 – для последовательной передачи данных программирования памяти программ и чтения/проверки записанных данных. Для предотвращения доступа к содержимому памяти программ после завершения разработки служит бит защиты CP в регистре FUSE.

### Компаратор

Выводы порта В (RB0...RB2) используются для подключения встроенного компаратора. Выход компаратора может быть доступен через вывод порта RB0 и через бит CMP\_RES регистра CMP\_V управления портом В. Биты выбора/управления этого регистра очищаются при сбросе, отключая компаратор. В приложениях, требующих пониженного потребления по питанию, необходимо отключить компаратор до перевода микроконтроллера в экономичный режим. Для правильного функционирования порты RB0...RB2 должны быть правильно запрограммированы: RB0 – как выход, а RB1 и RB2 – как входы.

### Процедура аппаратного сброса

Сброс микроконтроллеров может быть инициирован подачей напряжения питания, сигналом на выводе MCLR и схемой контроля напряжения питания. Вектор сброса находится вверху памяти программ и имеет адрес 7FFH для памяти объёмом 2К слов, 3FFH – для памяти объёмом 1К слов и 1FFH – для памяти 512 слов. Обычно при подаче напряжения питания достаточно встроенной схемы сброса. Однако если скорость напряжения питания недостаточна, может потребоваться внешняя RC-схема, подключаемая к выводу MCLR.

### Схема сброса при понижении напряжения питания

Схема сброса при понижении напряжения питания (BROWN OUT) инициирует сброс SX-микроконтроллеров, когда напряжение питания падает ниже определённого значения, но не уменьшается до нуля, а затем восстанавливается. Порог срабатывания схемы составляет около 4.2 В. Схема может быть отключена установкой битов BOR0, BOR1 регистра FUSEX в 1.

### 5.3. Микроконтроллеры AT89 фирмы Atmel

Микроконтроллеры серии AT89 с системой команд и архитектурой MCS51 выпускаются фирмой Atmel Corporation (Atmel) с 1984 г. Отличительной особенностью этих микроконтроллеров является применение Flash-памяти программ. Эта особенность позволяет практически мгновенно изменять программный код микроконтроллера, что существенно сокращает цикл разработки. Микроконтроллеры в корпусе с 40/44 выводами полностью совместимы по выводам с контроллерами 80C51 и обеспечивают возможность использования наработанных программ и прямой замены микросхем. Flash-память программ делает также возможным дистанционное изменение программного кода встроенных микроконтроллеров непосредственно у заказчика.

#### 5.3.1. Основные особенности микроконтроллеров

Основные особенности микроконтроллеров AT89:

- 8-разрядный процессор, оптимизированный для приложений управления;
- обширные возможности побитовой обработки;
- встроенная Flash-память программ;
- встроенная оперативная память;
- двунаправленные и индивидуально адресуемые линии ввода-вывода;
- один или несколько 16-разрядных таймеров/счетчиков;
- полнодуплексный UART;
- разветвленная структура прерываний;
- встроенный тактовый генератор;
- экономичные режимы: IDLE и POWER DOWN;
- встроенная память EEPROM (AT89S);
- последовательный интерфейс SPI (AT89S);
- сторожевой таймер (AT89S).

Рассмотрим особенности архитектуры микроконтроллеров.

#### Организация памяти

Микроконтроллеры имеют отдельные адресные пространства для памяти программы и данных. Это позволяет обращаться к памяти данных 8-битными адресами, чем обеспечивается быстрота операций, выполняемых с памятью 8-разрядным процессором. Вместе с тем с помощью регистра DPTR может быть сгенерирован 16-битный адрес данных. Таким образом, может быть адресовано до 64 Кбайт внешней памяти, для которой контроллер генерирует сигналы чтения и записи  $\overline{RD}$  и  $\overline{WR}$ . Для памяти программы обеспечивается только чтение.

Непосредственно адресуется до 64 Кбайт памяти программ. Для чтения внешней памяти программ контроллер генерирует сигнал PSEN. Внешняя память программ и память данных могут быть объединены посредством логического И сигналов контроллера RD и PSEN.

После выполнения процедуры сброса выполнение программы начинается с адреса 0000H. С адреса 0003H располагаются блоки обработки прерываний, занимающие по 8 байтов. Если процедура обработки прерывания занимает не более 8 байтов, она может располагаться в этом блоке. Процедуры обработки прерываний большего размера размещаются в других областях памяти программы, а управление передаётся им из блоков обработки прерываний командами безусловного перехода. Если прерывания в программе не используются, адреса, зарезервированные под блоки обработки прерываний, могут быть заняты кодом программы. Нижние адреса памяти программы могут адресовать как встроенную Flash-память программы, так и внешнюю память, в зависимости от того, соединён ли вывод управления внешним доступом EA с цепью питания или с общим проводом соответственно. Внешняя память программы может быть адресована 8-разрядным адресом с использованием порта ввода-вывода P0 для организации мультиплексированной шины адреса/данных или 16-разрядным адресом с использованием портов ввода-вывода P0 и P2, причём последний передаёт старший байт адреса.

Внешняя память данных может иметь объём до 64 Кбайт. Адресуется она так же, как и память программ 8- или 16-разрядными адресами. Пространство памяти данных разделено на 3 блока: нижние 128 ячеек, верхние 128 ячеек и область регистров специальных функций (Special Function Registers - SFR). Внутренняя память данных всегда адресуется одним байтом, что соответствует максимальному объёму памяти 256 байт. Однако применение различных способов адресации позволяет использовать до 384 байт внутренней памяти: при прямой и косвенной адресации пространства свыше 7FH адресуются различные области памяти (верхние 128 ячеек и область SFR).

В нижних 128 ячейках внутренней памяти первые 32 ячейки заняты четырьмя банками по 8 регистров, адресуемых командами программы как R0...R7. Выбор банка, в котором адресуются регистры, обеспечивается соответствующей установкой двух битов в слове состояния программы (PSW). Такая архитектура позволяет более эффективно использовать кодовое пространство, так как команды обращения к регистрам короче команд прямой адресации памяти. Следующие 16 ячеек после банков регистров образуют блок битовой адресации. Система команд микроконтроллера включает широкий выбор команд битовой адресации, которые могут непосредственно адресовать 128 бит в этой области. Адресуемые биты имеют адреса 00H...7FH.

Все байты в нижних 128 ячейках могут адресоваться прямым и косвенным методом адресации. К верхним 128 ячейкам, доступным лишь в контроллерах с объёмом памяти 256 байт, можно обращаться только с помощью косвенной адресации. Пространство SFR (регистров специальных функций) включает порты ввода-вывода, регистры таймеров, регистры управления периферийными устройствами и т.д. Эта область может адресоваться только прямой адресацией. Структура пространства идентична структуре аналогичного пространства контроллеров семейства MCS51, однако имеются дополнительные регистры. Шестнадцать адресов в пространстве SFR может адресоваться и побайтно и поразрядно. Адреса поразрядно адресуемых регистров заканчиваются тремя нулями. Адреса битов этих регистров имеют значения 80H...FFH.

### Система команд

Система команд микроконтроллеров оптимизирована для 8-разрядных приложений управления и обеспечивает ряд быстрых способов адресации для доступа к внутренней оперативной памяти. Система команд обеспечивает обширную поддержку для однобитовых переменных как отдельного типа данных, позволяя выполнять прямое разрядное манипулирование в управлении и логических системах, которые требуют булевой обработки.

Слово состояния программы (PSW) содержит биты состояния, которые отражают текущее состояние процессора и размещается в пространстве SFR. Слово состояния программы содержит бит переноса CY, бит дополнительного переноса (для операций с ДДК – двоично-десятичным кодированием) AC, биты выбора банка RS0 и RS1, флаг переполнения OV, бит контроля по четности P и два определяемых пользователем флажка состояния.

Микроконтроллеры имеют команды прямой и косвенной адресации, регистровые команды и специальные команды для некоторых регистров. В последнем случае код команды непосредственно указывает на регистр, с которым будет производиться операция. При прямой адресации операнд определён 8-разрядным полем адреса в команде. Этим методом могут быть адресованы только внутренняя оперативная память и пространство SFR. При косвенной адресации в команде указан регистр, который содержит адрес операнда. Таким методом может адресоваться как внутренняя, так и внешняя оперативная память. В качестве регистра адреса для 8-разрядных адресов может быть или указатель вершины стека, или регистры R0 или R1 выбранного банка. Регистром адреса для 16-разрядных адресов может быть только 16-разрядный регистр указателя данных DPTR. К банкам регистров, которые содержат регистры R0...R7, можно обращаться командами,

чьи коды операции включают 3-разрядную спецификацию регистра. Команды, которые обращаются к регистрам этим способом, обеспечивают эффективное использование кода программы, так как при этом в команде отсутствует байт адреса. Банк, в котором текущей командой адресуется регистр, выбирается соответствующей установкой двух битов в слове состояния программы PSW.

Значение константы может следовать за кодом операции в памяти программ. К ПП можно обращаться только через индексную адресацию, 16-разрядный базовый регистр (DPTR или счетчик команд PC) указывает на начало текущей команды.

Машинный цикл микроконтроллеров содержит 6 состояний S1-S6, каждое из которых занимает два такта тактового генератора. Таким образом, длительность машинного цикла составляет 12 тактов тактового генератора, или при тактовой частоте 12 МГц – 1 мкс. Команда программы может быть выполнена в течение одного или нескольких машинных циклов, например команда MOVX занимает два машинных цикла.

#### Система прерываний

Микроконтроллеры имеют 5 источников прерываний: 2 внешних прерывания, 2 прерывания по таймеру и прерывание от последовательного порта. В некоторых контроллерах имеются дополнительные источники прерывания в соответствии с особенностями их архитектуры. Прерывание по каждому из источников может быть индивидуально разрешено либо запрещено путём установки или сброса соответствующих битов в регистре разрешения прерываний IE, расположенном в пространстве SFR. В процессе выполнения программы состояние флагов прерываний считываются в пятом состоянии машинного цикла и опрашиваются в следующем цикле. Для каждого из источников прерываний может быть запрограммирован один из двух уровней приоритета путём установки или сброса соответствующего бита в регистре приоритетов прерываний IP, расположенном в пространстве SFR. Низкоприоритетное прерывание может быть прервано высокоприоритетным прерыванием, но не другим низкоприоритетным прерыванием. Выполнение процедуры высокоприоритетного прерывания не может быть прервано никаким прерыванием. Если одновременно поступило два запроса на прерывание с разными уровнями приоритета, то сначала выполняется процедура высокоприоритетного прерывания. При поступлении запросов на прерывание с одинаковым уровнем приоритета порядок выполнения процедур обработки прерывания определяется внутренней последовательностью опроса. В процессе обработки прерывания аппаратно сгенерированная процедура LCALL помещает содержимое счетчика команд PC в стек и загружает

начальным адресом соответствующего блока обработки прерывания. Кроме счетчика команд автоматически в стеке не сохраняются никакие другие регистры. За сохранение других необходимых регистров отвечает программист. В ряде случаев это позволяет сократить время обработки прерывания. В результате множество функций обработки прерываний, которые являются типичными в приложениях управления: переключение вывода порта, перезагрузка таймера или чтение буфера последовательного порта, – могут быть завершены скорее, чем это было бы возможно при другой архитектуре. Многие приложения требуют более двух уровней приоритетности прерываний, обеспечиваемых аппаратными средствами микроконтроллеров. В таком случае возможно применение простого программного кода, с помощью которого эмулируется третий уровень приоритетности прерывания.

### Последовательный порт

Последовательный порт микроконтроллеров – полнодуплексный, с буфером приёмника-передатчика. Доступ к регистрам приёма и передачи осуществляется через регистр SBUF в пространстве SFR. При выполнении записи в этот регистр загружается регистр передачи, чтение обеспечивает доступ регистру приёма. При тактовой частоте микроконтроллера 12 МГц в зависимости от установленного режима последовательный порт обеспечивает скорость обмена до 1 Мбит/с. Однако для обеспечения стандартных скоростей обмена 1200...19200 бод необходимо тактировать микроконтроллер с частотой 11.059 МГц, при этом для получения необходимой скорости обмена используется один из таймеров.

### Экономичные режимы работы

Для обеспечения экономии потребления энергии микроконтроллеры имеют два программно управляемых режима работы с пониженной мощностью. В режиме IDLE (холостой ход) процессор выключен, в то время как оперативная память и встроенные периферийные устройства продолжают функционировать. В режиме POWER DOWN все устройства микроконтроллера выключены, однако данные в оперативной памяти продолжают сохраняться.

Микроконтроллеры имеют два режима работы с пониженным потреблением по питанию: Idle и Power Down, переход в которые обеспечивается установкой соответствующих битов в регистре PCON пространства SFR.

В режиме Idle (IDL = 1) тактовый генератор продолжает работать, и обеспечивается работа периферийных устройств: таймеров, блока

обработки прерываний и последовательного порта, при этом процессор микроконтроллера останавливается в ожидании поступления прерывания. В этом режиме потребление тока уменьшается приблизительно на 15 % от потребления полностью активного устройства.

В режиме Power Down ( $PD = 1$ ) останавливается тактовый генератор микроконтроллера, однако содержимое встроенной памяти и регистров пространства SFR сохраняется. В этом режиме типовое потребление микроконтроллера составляет менее 15 нА, и в любом другом случае – не более 600 нА. Выход из состояния Power Down возможен только при выполнении аппаратного сброса. При сбросе переинициализируются все регистры пространства SFR, однако содержимое внутренней памяти данных не изменяется.

Микроконтроллеры разработаны с применением статической логики, которая не требует непрерывной синхронизации. Поэтому частота тактового генератора может быть уменьшена или же он может быть остановлен в ожидании события, требующего обработки. Это также способствует снижению потребления по питанию.

Аппаратный сброс запускает также тактовый генератор микроконтроллера. На время пребывания микроконтроллера в режиме Power Down напряжение питания может быть снижено до 2 В. Однако напряжение питания не должно быть понижено до того, как микроконтроллер перешел в режим Power Down, и должно быть восстановлено перед выполнением процедуры сброса. Сигнал сброса должен быть достаточно длительным для того, чтобы стабилизировалась работа тактового генератора (обычно не более 10 мс).

### 5.4. Микроконтроллеры AVR фирмы Atmel

#### 5.4.1. Общая характеристика AVR микроконтроллеров

Микроконтроллеры AVR серии AT90 с RISC-архитектурой выпускаются фирмой Atmel Corporation (Atmel) с 1997 г. Архитектура была разработана с использованием достижений полупроводниковой микроэлектроники и возможностей программного обеспечения 1990-х годов. Созданные в результате микроконтроллеры имеют самое высокое соотношение производительность/потребление энергии, доступное на рынке 8-разрядных микроконтроллеров.

Языки программирования высокого уровня быстро становятся стандартным методом программирования для встроенных микроконтроллеров из-за уменьшения времени разработки и упрощенной поддержки сопровождения. В разработке AVR-архитектуры принимали участие эксперты языка Си, чтобы гарантировать, что аппаратные средства и программное обеспечение позволят получать высокоэффективный код.



Для того чтобы оптимизировать размер кода, эффективность и потребляемую мощность, AVR-архитектура включает большой блок регистров с быстрым доступом и быстрые команды с одноктактным циклом.

На рис. 5.1 показана логическая организация микроконтроллера Atmel AVR AT90S2333/4433. Блок регистров с быстрым доступом состоит из 32 универсальных рабочих регистров. Традиционные АЛУ базировались на архитектуре, которая требовала большого количества команд для передачи данных между АЛУ и памятью. AVR-архитектура с большим количеством рабочих регистров не нуждается в таких командах.

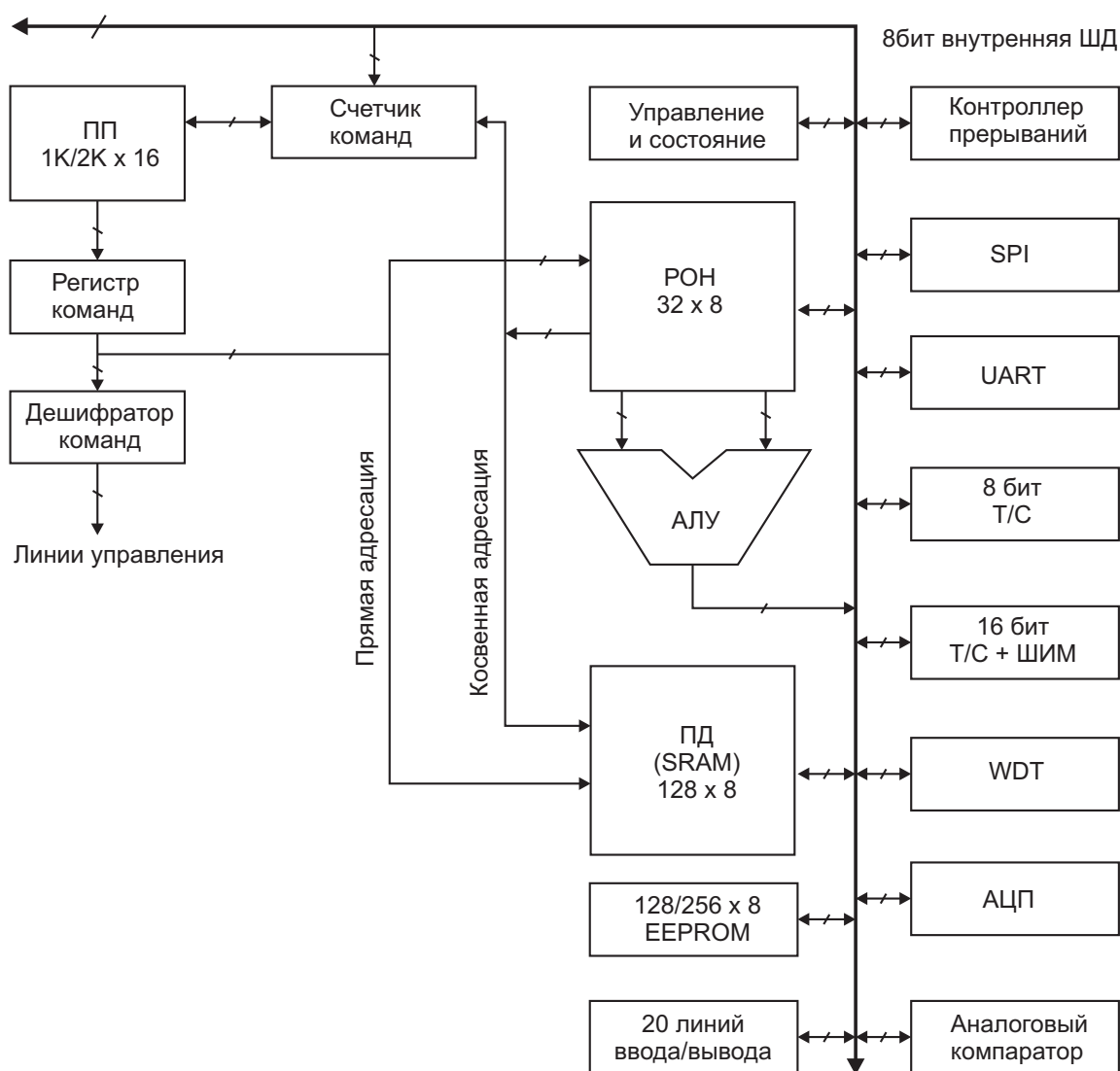


Рис. 5.1. Логическая организация микроконтроллера AVR AT90S2333/4433

AVR-контроллеры имеют двухступенчатый конвейер команд, благодаря чему за один такт обеспечивается выполнение одной команды и выборка из памяти следующей команды. В других CISC- и RISC-

подобных архитектурах цикл выполнения команды разделён на фазы (до 12 фаз). AVR-микроконтроллеры выполняют команды за один такт тактового генератора, и это первые действительно RISC-процессоры на 8-разрядном рынке.

AVR-архитектура поддерживает полный спектр контроллеров: от простых контроллеров с малым числом выводов до устройств более высокого класса с большим объемом встроенной памяти. Архитектура в стиле гарвардской непосредственно адресует до 8 Мбайт памяти программ и 8 Мбайт памяти данных. Универсальные регистры контроллеров отображаются в адресном пространстве памяти данных, что обеспечивает возможность быстрого переключения.

Семейство AVR-микроконтроллеров производится по КМОП-технологии (с низким энергопотреблением) фирмы Atmel. Перепрограммируемая энергонезависимая Flash-память обеспечивает перепрограммирование контроллеров как с помощью обычного программатора, так и на плате через последовательный интерфейс SPI. Объединяя расширенную RISC-архитектуру с загружаемой Flash-памятью на одном кристалле, AVR-семейство предлагает мощное решение для встроенных систем управления.

Старшие модели микроконтроллеров обеспечивают широтно-импульсную модуляцию (ШИМ, PWM) с использованием 16-разрядного таймера/счетчика (деление тактовой частоты на 510, 1022 и 2046). Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART) обеспечивает полнодуплексный обмен данными с частотой до 115200 бит/с. Последовательный трехпроводный интерфейс SPI обеспечивает синхронный обмен данными с периферийными устройствами или другими микроконтроллерами со скоростью до 5 Мбит/с.

### 5.4.2. Микроконтроллер AT90S1200

Рассмотрим более подробно младшую модель семейства – контроллер AT90S1200. Вот основные его характеристики:

- 89 команд, выполняемых за один такт;
- 32 восьмибитных универсальных регистра;
- рабочая частота 0 Гц...16 МГц (минимальный цикл выполнения команды 62.5 нс);
- 16-битные команды;
- 8-битные данные;
- 1 Кбайт встроенной перепрограммируемой Flash-памяти программ с ресурсом 1000 циклов записи/стирания;
- возможность перепрограммирования на плате через последовательный интерфейс SPI;

- 64 байта электрически перепрограммируемой памяти EEPROM с ресурсом 100 тыс. циклов записи/стирания;
- 15 индивидуально программируемых линий ввода-вывода;
- максимальный втекающий ток 20 мА, максимальный вытекающий ток 3 мА;
- встроенный аналоговый компаратор;
- 8-разрядный таймер/счетчик с 10-разрядным программируемым предварительным делителем;
- автоматический сброс при подаче напряжения питания;
- таймер включения при подаче напряжения питания;
- сторожевой (Watch dog) таймер с собственным встроенным генератором частотой 1 МГц;
- наличие битов секретности для защиты кода;
- биты идентификации;
- экономичные режимы: IDLE и POWER DOWN;
- энергонезависимая, экономичная, быстрая КМОП-технология;
- полностью статическая архитектура;
- широкий диапазон рабочего напряжения питания и температуры: 2.7...6.0 В; -55...+125 °С;
- низкое энергопотребление: 2 мА (типично для 3 В, 4 МГц); 500 мкА (типично для 3 В, 4 МГц в режим Idle); 15 мкА (максимально для 3 В в режиме Power Down при включенном сторожевом таймере); 1 мкА (максимально для 3 В в режиме Power Down при отключенном сторожевом таймере).

AVR-ядро микроконтроллера объединяет систему команд с 32 универсальными рабочими регистрами. Все 32 регистра непосредственно соединены с арифметико-логическим устройством (АЛУ), благодаря чему в одной команде обеспечивается доступ к двум регистрам. В результате архитектура обеспечивает производительность, до десяти раз превышающую производительность стандартных CISC-микроконтроллеров. Архитектура поддерживает языки высоких уровней так же эффективно, как и оптимизированные программы на ассемблере.

Режим Idle останавливает АЛУ, обеспечивая при этом работу регистров, таймера/счетчика, сторожевого таймера и системы прерываний, для продолжения функционирования. Режим Power Down сохраняет содержимое регистров, останавливая тактовый генератор и отключая все другие функции контроллера до следующего внешнего прерывания или аппаратного сброса.

АЛУ выполняет арифметические и логические операции между регистрами или между константой и регистром. Операции с одиночными регистрами также выполняются в АЛУ. AVR использует гарвардскую архитектуру с разделенными шинами данных и программ. Обращение к памяти программ конвейеризовано. В то время как одна команда вы-

полняется, следующая команда извлекается из памяти программ. Эта концепция обеспечивает возможность выполнения команд в каждом такте.

Команды с относительной адресацией определены в адресном пространстве из 512 команд. Все AVR-команды имеют формат одиночного 16-разрядного слова, т.е. каждый адрес памяти программы содержит одиночную 16-разрядную команду. На время обработки прерываний и вызовов подпрограмм значение счетчика адреса (PC) сохраняется в специализированном трехуровневом аппаратном стеке.

Пространство памяти ввода-вывода содержит 64 адреса для функций периферийных устройств, таких как регистры управления, таймер/счетчик, и других функций ввода-вывода.

Гибкий модуль прерывания имеет управляющие регистры в пространстве ввода-вывода и дополнительный общий бит разрешения прерываний в регистре состояния. Все прерывания имеют отдельные векторы в таблице векторов прерываний, размещаемой в начале памяти программы. Прерывания имеют приоритет в соответствии с позицией их вектора прерывания. Прерывание с меньшим адресом вектора имеет более высокий приоритет.

Все команды обращения к регистрам имеют прямой доступ ко всем регистрам за один такт. Исключение составляют пять арифметических и логических команд `SBCI`, `SUBI`, `CPI`, `ANDI`, `ORI`, одним из операндов которых является константа, и команды `LDI` загрузки константы. Эти команды обращаются ко второй половине регистров – `R16...R31`. Регистр `R30` также служит 8-разрядным указателем для косвенной адресации регистров.

Для того чтобы включить энергосберегающие режимы, необходимо установить в 1 бит `SE` регистра `MCUCR` в пространстве ввода-вывода и выполнить команду `SLEEP`. Если в то время, когда микроконтроллер находится в энергосберегающем режиме, происходит разрешенное прерывание, микроконтроллер выполняет подпрограмму обработки прерывания, а затем переходит к выполнению команды, следующей за командой `SLEEP`. Содержимое универсальных регистров и регистров ввода-вывода при этом остается неизменным. Если во время нахождения микроконтроллера в энергосберегающем режиме происходит внешний сброс, то микроконтроллер выполняет процедуру сброса.

Если бит `SM` регистра `MCUCR` сброшен в 0, то команда `SLEEP` приводит к переходу в режим `IDLE`, в котором останавливается процессор микроконтроллера. При этом таймер/счетчики, сторожевой таймер и система прерывания продолжают функционировать. Это позволяет продолжить работу микроконтроллера при наступлении внешних и внутренних прерываний, например прерывания от переполнения таймера или сброса сторожевого таймера.

Если бит SM регистра MCUCR установлен в 1, то команда SLEEP приводит к переходу в режим POWER DOWN, при котором останавливается внешний тактовый генератор. Если сторожевой таймер был включен, то он по окончании заданного периода запустит контроллер. Если сторожевой таймер заблокирован, то только внешний сброс или внешнее прерывание может запустить контроллер.

8-разрядный счетчик/таймер микроконтроллера снабжен 10-разрядным предварительным делителем частоты. Таймер может работать как от внутреннего генератора или предварительного делителя, так и от внешнего источника тактовой частоты. С предварительного делителя на таймер может подаваться тактовая частота микроконтроллера, деленная на 8, 64, 256 или 1024.

Сторожевой таймер тактируется от отдельного встроенного генератора с тактовой частотой около 1 МГц при напряжении питания 5 В и имеет предварительный делитель частоты. С помощью предварительного делителя интервал сброса сторожевого таймера может быть установлен от 16 до 2048 тактов генератора. Специальная команда WDR сбрасывает сторожевой таймер. Если сторожевой таймер сбрасывается не командой WDR, а по истечении временного интервала, то микропроцессором выполняется процедура сброса. Адреса электрически перепрограммируемой памяти (EEPROM) располагаются в пространстве адресов ввода-вывода. Время записи в EEPROM составляет 2.5...4 мс в зависимости от напряжения питания. Функция автосинхронизации при этом позволяет программе обнаружить, когда может быть записан следующий байт. Схема слежения предотвращает запись в EEPROM при пониженном напряжении питания. После записи или чтения EEPROM АЛУ задерживает на два такта выполнение следующей команды.

### 5.5. Микроконтроллеры фирмы "Ангстрем"

Открытое акционерное общество (ОАО) "Ангстрем" (Зеленоград, г. Москва) разработало и с 1998 г. выпускает микроконтроллерное ядро ТЕСЕЙ, содержащее широкий набор функциональных модулей. Ядро ТЕСЕЙ предназначено для создания и массового производства большого семейства 8-разрядных микроконтроллеров.

Характерной особенностью ядра ТЕСЕЙ являются:

- гарвардская RISC-архитектура, позволяющая выполнять любую из 52 команд 16-разрядного формата за два такта частоты процессора;
- единая система команд для всего семейства с возможностью адресации до двух операндов, находящихся в памяти;
- 4-ступенчатый конвейер выполнения команд;

- малое время отклика на прерывание и сохранение контекста;
- широкий диапазон конфигураций внутренней памяти команд, памяти данных и периферийных устройств.

Микроконтроллеры семейства ТЕСЕЙ предназначены для использования в системах управления, работающих в режиме реального времени. Они отличаются высокой производительностью, наличием энергонезависимой памяти данных, возможностью многократного перепрограммирования памяти программ, небольшим количеством внешних выводов и низким энергопотреблением.

Микроконтроллерное ядро ТЕСЕЙ включает в себя комплекс программных и аппаратных средств для автоматизации проектирования, отладки и аттестации программ микроконтроллеров. Комплекс состоит из компилятора ассемблера микроконтроллеров ТЕСЕЙ – TESSA 0.1, пакета программ отладочной среды микроконтроллеров ТЕСЕЙ и аппаратного эмулятора микроконтроллеров ТЕСЕЙ.

На базе ядра ТЕСЕЙ уже создано и выпускается несколько серийных микроконтроллеров универсального и специализированного применения. В качестве примера назовем серийные изделия: КР1878ВЕ1 — универсальный управляющий микроконтроллер, КР1878ВЕ2 – специализированная БИС поведенческих развивающих игр и КБ5004ВЕ1 – специализированная БИС банковской интеллектуальной платёжной карты с многоуровневой системой защиты.

### 5.5.1. Микроконтроллер КР1878ВЕ1

Микроконтроллер КР1878ВЕ1 разработан на основе отечественного микроконтроллерного ядра ТЕСЕЙ, предназначенного для построения 8-разрядных RISC-микроконтроллеров реального времени. Данный микроконтроллер ориентирован на использование в системах управления реального времени. Он отличается малым количеством внешних выводов, низким током потребления, высокой производительностью, наличием энергонезависимой памяти данных и возможностью многократного перепрограммирования памяти команд. При необходимости и при достаточном объёме партии микроконтроллер может поставляться в варианте с масочным ПЗУ программ.

Основные характеристики микроконтроллера КР1878ВЕ1:

- электрически стираемое ППЗУ команд —  $1\text{К} \times 16$  бит;
- статическое ОЗУ данных —  $128 \times 8$  бит;
- EEPROM данных  $64 \times 8$  бит;
- система команд из 52 команд;
- тактовая частота от 32 кГц до 8 МГц;
- время выполнения любой команды – 2 такта (250 нс при частоте 8 МГц);

- семь уровней прерываний (начальный пуск, системная ошибка, сторожевой таймер, порт А, порт В, таймер, конец записи в EEPROM);
- время реакции на прерывание – 3 такта;
- 12 (13) линий ввода/вывода с индивидуальным управлением направлением и прерыванием от любой линии;
- максимальный ток – 25 мА;
- 16-разрядный таймер с 8-разрядным делителем частоты;
- сторожевой таймер с автономным генератором;
- напряжение питания –  $V_{cc} = (4.0 \dots 6.0) \text{ В}$ ;
- ток потребления менее 2 мА при  $V_{cc} = 5 \text{ В}$  и  $f = 5 \text{ МГц}$ ; 50 мкА при  $V_{cc} = 5 \text{ В}$  и  $f = 32 \text{ кГц}$ ; менее 1 мкА в режиме STOP.

Микроконтроллер КР1878ВЕ1 содержит функционально законченные устройства, необходимые для локального управления широким кругом разнообразных бытовых и промышленных объектов, в том числе центральный процессор, Flash-память программ, ОЗУ данных, EEPROM данных, сторожевой таймер, 2 порта ввода/вывода и таймер общего назначения. Производительность микроконтроллера до 4 MIPS на тактовой частоте 8 МГц. Обмен данными между центральным процессором, ОЗУ данных и периферийными устройствами производится по единой шине (рис. 5.2).

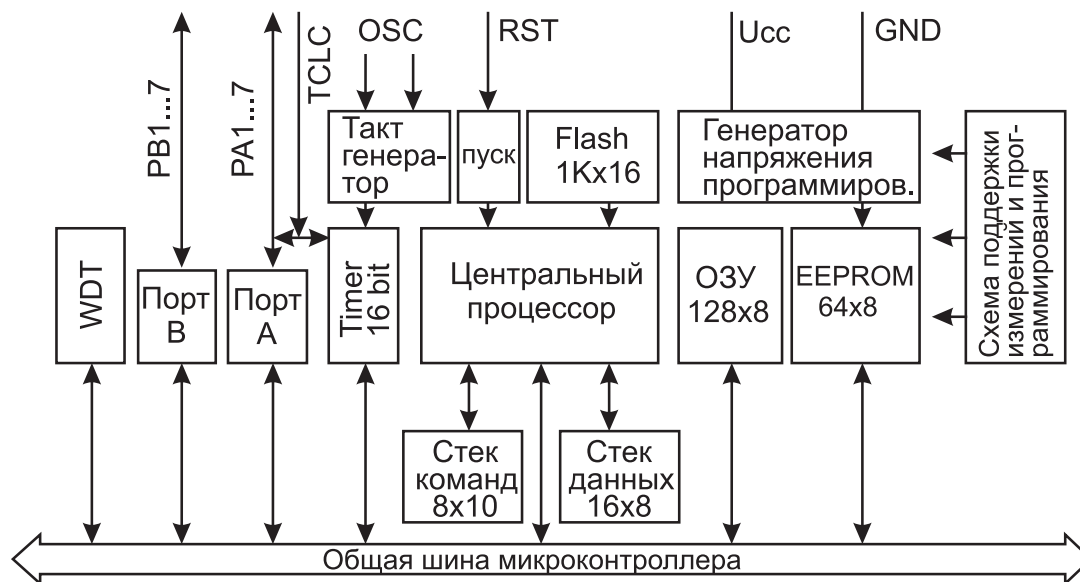


Рис. 5.2. Функциональная блок-схема микроконтроллера КР1878ВЕ1

Микроконтроллер изготовлен по КМОП-технологии и выпускается в 18-выводном пластмассовом корпусе ДИП типа 2104.18-8. По цоколевке КР1878ВЕ1 совместим с подобными микроконтроллерами фирм Microchip, Zilog и др. Это даёт возможность отечественным потребителям, перепрограммировав реализацию своих алгоритмов, за-

менить ранее применённые импортные микроконтроллеры на отечественные с лучшими, в ряде случаев, техническими характеристиками.

Применение микроконтроллера КР1878ВЕ1 облегчается его обеспеченностью программными и аппаратными средствами автоматизации программирования и отладки, включающими как кросс-систему на основе персонального компьютера, так и резидентную систему на основе аппаратного эмулятора.

### 5.6. Программируемые микроконтроллеры фирмы Zilog

Программируемые микроконтроллеры широкого применения Programmable Consumer Controller Processors (PCCP) типа Z8 выпускаются фирмой Zilog. В составе обширной номенклатуры фирмы Zilog на сегодняшний день всего 16 разновидностей приборов типа PCCP Z8. Все они начинаются с аббревиатуры Z86E, в которой последняя буква показывает наличие встроенной однократно программируемой памяти программ ППЗУ. Эти 16 контроллеров PCCP Z86E делятся на две группы: контроллеры общего назначения и контроллеры с расширенным набором функций.

#### 5.6.1. Контроллеры общего назначения

Семейство универсальных микроконтроллеров фирмы Zilog характеризуется минимальными отступлениями от принципов, заложенных в основу архитектуры и системы команд микропроцессора Z80. К ядру микропроцессора Z80 была добавлена минимальная периферия (встроенные ППЗУ, ОЗУ (регистровый файл), генератор, порты ввода-вывода, таймеры, компараторы, сторожевой таймер (WDT), узел прерываний). Любой из приборов, входящих в состав семейства, представляет собой усеченную версию базового кристалла Z86E40, который содержит ресурсы, максимально возможные для микроконтроллеров этого класса. Усечение младших приборов семейства идет по разным направлениям, связанным с уменьшением их встроенных ресурсов и, прежде всего, объемов встроенных ППЗУ и регистрового файла, количества выводов корпуса, максимальной частоты внутреннего тактирования и стоимости.

Архитектура микроконтроллеров PCCP Z8 включает генератор тактовых импульсов, систему сброса контроллера, центральный процессор с АЛУ и регистром флагов состояния (РФС), регистровый файл, встроенную память программ, переключаемую специальным счетчиком команд, специальный механизм адресации внешних устройств памяти, который обеспечивает синхронизацию работы АЛУ с микросхемами внешней памяти (только для Z86E40), а также набор



периферийных устройств, состоящий из портов ввода-вывода, компараторов, функциональных таймеров, системы прерываний, сторожевого таймера WDT и средств обеспечения режимов пониженного энергопотребления, узла сброса прибора в начальное состояние.

**Регистры.** Микроконтроллеры РССР Z8 могут иметь три типа независимых друг от друга и никак не пересекающихся друг с другом областей памяти: регистровый файл, память программ, память данных. Регистровый файл состоит из регистров двух типов – регистров общего назначения (РОН) и регистров специального назначения (РСН). Объем регистрового файла составляет от 60 до 256 байт в зависимости от типа прибора. Регистры регистрового файла РССР Z8 могут быть доступны и как 8-битные байты, а для ряда операций – и как 16-разрядные слова. РОН являются универсальными регистрами, которые исполняют роль встроенного ОЗУ для контроллеров РССР Z8, не имеющих аппарата для подключения внешней памяти. Любой из РОН может быть использован в качестве аккумулятора, указателя адреса, регистра данных или индексного регистра.

РСН служат для обеспечения управления периферийными устройствами контроллеров РССР Z8: переключения портов ввода-вывода, выбора режимов их работы, установок системы прерывания, обеспечения режимов работы контроллера и встроенных таймеров, в том числе и WDT. Кроме того, к РСН РССР Z8 относятся регистры процессора, которые включают такие необходимые для работы центрального процессора прибора элементы памяти, как регистровый указатель, указатели стека, РФС и регистр счетчика команд.

**Память программ.** Память программ емкостью до 64 Кбайт может быть использована в составе микроконтроллерной системы, построенной на основе РССР Z8. Однако подобное достижимо лишь для контроллера типа Z86E40, имеющего аппаратный механизм для подключения внешней памяти. Остальные контроллеры семейства в качестве памяти программ могут использовать только внутреннюю встроенную память программ, объем которой лимитирован конкретным типом устройства. Таким образом, программная память может быть внутренней (встроенной) и внешней, но лишь для Z86E40.

Память программ предназначена для хранения кодов управляющей программы, подготовленной пользователем на этапе разработки программируемого устройства на базе контроллеров семейства РССР Z8. Помимо кода программы, в первых 12 ячейках программной памяти располагаются адреса каждого из 6 векторов прерывания любого из контроллеров. Поэтому при сбросе контроллера программный счетчик устанавливается на адрес 000СН, откуда и начинает свое действие собственно программа управления любым из контроллеров Z8.

Для внутреннего сегмента памяти программ любого из контроллеров семейства РССР Z8 возможна защита памяти программ, блокировка доступа к которой может осуществляться на этапе программирования контроллеров.

**Память данных.** Память данных объемом до 64 Кбайт имеет смысл только в отношении микроконтроллера типа Z86E40, который содержит механизм адресации внешней памяти. При этом разделение обращения к внешней памяти программ и к внешней памяти данных осуществляется сигналом DM. Для всех остальных контроллеров семейства РССР Z8, не имеющих механизма для подключения внешних ресурсов памяти, в качестве памяти программ выступает набор РОН. В частности, именно он используется для организации стека при разработке программного обеспечения для контроллеров, не содержащих аппарата подключения внешней памяти, что возможно благодаря программной установке вершины стека.

**Система команд.** Контроллеры семейства РССР Z8 имеют 50 типов инструкций, которые реализуют пересылки операндов и блоков данных, их арифметические и логические преобразования (в том числе сдвиги), а также двоично-десятичные преобразования. Для адресации операторов может быть использовано шесть способов адресации. Возможна работа с байтами, а для некоторых инструкций – возможна работа с 16-разрядными словами. Кроме того, имеется специальный набор управляющих команд, обеспечивающих работу с подпрограммами, ветвление программ, взаимодействие со стеком и РСН, перевод контроллера в режимы пониженного энергопотребления. Система команд Z8 не поддерживает команды умножения и деления операндов; реализация этих операций достигается только за счет использования специальных программ арифметики.

Гибкая классическая система команд в сочетании с классической Intel-архитектурой процессоров семейства РССР Z8 дает поразительные результаты даже по сравнению с современными RISC-контроллерами. Там, где супербыстрый RISC-процессор использует 4–5 инструкций, любому из Z8 достаточно одной, особенно это заметно при реализации процедур обработки данных.

**Порты ввода-вывода.** Основным средством обмена информационными сигналами и управляющими воздействиями между внешней средой и микроконтроллером являются линии или порты ввода-вывода. У РССР Z8 их количество определяется типом корпуса, в который упакована та или иная модификация семейства. Максимальное число линий ввода-вывода содержит кристалл Z86E40, размещаемый в корпусах с наибольшим числом выводов, – четыре порта P0, P1, P2, P3, каждый из которых содержит по 8 линий ввода-вывода. Порты P0 и P1 могут быть сконфигурированы как в качестве функциональных выво-

дов, так и для использования в качестве мультиплексированной шины адреса/данных при подключении к контроллеру внешней памяти. При этом порт P1 служит для передачи данных и генерации младшего байта адреса, а порт P0 – только для генерации старшего байта адреса.

Синхронизация процесса взаимодействия с внешним адресным пространством осуществляется четырьмя специальными управляющими сигналами, генерируемыми на выводах AS, DS, R/W, DM, которые имеет только кристалл Z86E40. Остальные порты P2 и P3 могут использоваться только в качестве функциональных. При этом номер каждого из портов, а также номер каждой из линий внутри порта жестко связаны с перечнем выполняемых им функций. Так, каждая из линий порта P2 может быть побитно сконфигурирована либо для ввода, либо для вывода информации, а в целом – для всех линий этого порта, работающих на вывод, выбирается один из двух возможных типов выходных цепей: обычный цифровой вывод (ТТЛ уровень) или открытый коллектор.

Младшие четыре линии порта P3 предназначены только для ввода информации, однако они могут быть определены либо для работы в аналоговой моде (использование встроенных компараторов), либо для работы в цифровой моде. Старшие четыре линии порта P3 предназначены только для вывода информации (причем только уровнем ТТЛ). Линии порта P0 так же, как и линии порта P3, разделены на младшую и старшую тетрады, каждая из которых может быть отдельно запрограммирована либо для работы по вводу (только уровнем ТТЛ), либо по выводу информации (уровнем ТТЛ или открытый коллектор для Z86E30/31/40). Все линии порта P1 настраиваются вместе или на прием, или на выдачу байта (только уровнем ТТЛ). Если любой из выводов любого из портов процессора сконфигурирован на ввод, то фиксация уровня внешнего сигнала на соответствующей ножке производится аппаратно сразу двумя независимыми схемами — регистром-защелкой и триггером Шмидта. Конфигурация каждого из портов задается программно посредством специальных регистров P01M для портов P0 и P1 и P1M, P2M, P3M для остальных портов соответственно, а ввод-вывод информации по каждой линии осуществляется через организацию записи/чтения регистров P0, P1, P2, P3 соответственно.

Если прибор Z86E40, размещенный в самом многовыводном корпусе, содержит линии каждого из портов, то кристаллы Z86E30 и Z86E31, упакованные в 28-выводные корпуса, включают лишь порты P1, P2 и P3, а контроллеры, размещаемые в 18-выводных корпусах, содержат порт P2 целиком, первые 3 линии порта P0 и линии P3.1, P3.2, P3.3 порта P3.

Каждый из микроконтроллеров PCCP Z8 имеет в своем составе два встроенных компаратора, входы которых могут быть выбраны в качестве альтернативных функций для трех линий порта P3. При этом

исследуемый аналоговый сигнал принимается на выходы P3.1 и P3.2, а опорный сигнал, общий для каждого из компараторов, подводится к выводу P3.3. Каждый из выходов компараторов связан с индивидуальным прерыванием контроллера. Подобная конфигурация аналоговых входов, а также достаточно высокая чувствительность встроенных компараторов позволяет легко организовывать на их базе различные типы аналого-цифровых преобразователей. Однако повышенная чувствительность аналоговых входов порта P3 требует их дополнительной защиты от возможных помех. Таковую защиту легко организовать с помощью двух диодов Шоттки, включенных в качестве ограничителей уровня импульсных сигналов относительно уровня земли и питания контроллера.

Для тактирования работы любого из Z8 служит узел встроенного тактового генератора. Параметры максимальной тактовой частоты для различных версий Z8 различны (от 8 до 16 МГц). Минимальное значение тактовой частоты также лимитировано на уровне 1 МГц. Для запуска встроенного генератора необходимо организовать относительно специальных выводов XTAL1 (вход) и XTAL2 одну из четырех возможных внешних цепей: либо это уже готовый внешний генератор заданной частоты, подключенный через КМОП-выход, либо высококачественный кварцевый резонатор, либо LC-цепь, либо RC-цепь.

Значение рабочей частоты контроллера также напрямую связано с его энергопотреблением. Достаточно сказать, что при минимальных значениях тактовой частоты потребление контроллера в 3–4 раза меньше потребления на максимальных значениях частоты тактирования.

Кроме того, потребление контроллеров РССР Z8, как впрочем для большинства статических микросхем, значительно зависит и от температурного режима работы прибора.

**Режимы работы.** Общее энергопотребление контроллера также определяется рабочим режимом, в котором он находится. Для РССР Z8 различают три основных режима работы. Это штатный рабочий режим, при котором все узлы контроллера функционируют в полном объеме (штатное потребление), и два режима пониженного потребления: режим HALT, при котором остановлено тактирование процессора, но все периферийные узлы поддерживают активное состояние (~50% от штатного потребления), и режим STOP, при котором также останавливается тактирование, а все периферийные устройства переводятся в пассивное состояние (~7% от штатного потребления). Столь малое потребление объясняется тем, что в режиме STOP прекращается работа тактового генератора микроконтроллера. Если же в режиме STOP отключить еще и WDT, то можно достигнуть величины ~0.05%

от штатного потребления. Выход из режима HALT осуществляется при срабатывании любого из прерываний, а из режима STOP – либо по сигналу сброса, который может быть активизирован, в том числе и WDT, либо при выполнении одного из условий, задаваемых заранее в регистре специального назначения SMR.

**Счетчики-таймеры.** В состав периферийных устройств любого из контроллеров семейства РССР Z8 входят 8-разрядные таймеры-счетчики, которые обеспечивают возможность работы процессора в реальном масштабе времени. Каждый из членов семейства содержит по два таких независимых узла T0 и T1, и лишь самый младший кристалл Z86E02 имеет один таймер-счетчик. На входе каждого из таймеров имеется программируемый 6-разрядный делитель. Тактирование таймеров-счетчиков может производиться как от тактового генератора микроконтроллера, так и от внешнего источника, подключенного через вывод P3.1. Оба счетчика могут работать только в режиме декремента. Содержимое каждого таймера-счетчика может быть не только заполнено предварительной уставкой, но и считано без нарушения или изменения режима его работы. Через специальные конфигурационные регистры устанавливается режим работы каждого из таймеров. Возможна установка одного из четырех следующих режимов: режим счета внешних событий, режим измерения интервала времени, режим временной задержки, режим тайм-аута. Переполнение каждого из счетчиков может быть зафиксировано системой прерываний контроллера индивидуально.

**Система прерываний.** Одним из наиболее важных узлов микроконтроллеров семейства РССР Z8 является система прерываний, которая включает шесть уровней прерываний. Источники прерываний при этом делятся на внешние и внутренние. К внешним относятся прерывания от выводов P3.0...P3.3 порта P3 (передний фронт импульса или срабатывание компаратора для выводов P3.2 и P3.1), а к внутренним – прерывания при переполнении таймеров-счетчиков. Управление системой прерываний осуществляется через специальные регистры или специальными командами. Каждый из уровней прерывания имеет соответствующий ему вектор прерывания, который является адресом программы обработки прерывания, т.е. указателем на подпрограмму, которая должна исполняться в случае срабатывания разрешенного прерывания. Каждый из векторов, соответствующий тому или иному уровню прерывания, располагается в 12 ячеек в самом начале адресного пространства памяти программ. После возникновения прерывания в счетчик команд автоматически загружается соответствующий вектор прерывания, и управление автоматически передается программе обработки прерываний. Это происходит после предварительного сохранения текущего содержимого счетчика команд и регистра фла-

гов состояния в стеке. Таким образом, процессор может в реальном масштабе времени моментально реагировать на внешние и внутренние события, требующие немедленного обслуживания. По окончании работы подпрограммы обработки прерывания управление возвращается прерванному фрагменту благодаря восстановлению, предварительно сохраненному в стеке значению текущего, на момент возникновения прерывания, состояния программного счетчика. Возможна отработка вложенных прерываний. Для каждого из прерываний программно может быть установлен свой приоритет по отношению к другим уровням.

**Сброс.** После сброса процессора система прерываний находится в пассивном состоянии и для ее активизации необходима соответствующая установка специализированных служебных регистров системы прерывания – регистра маски прерываний, регистра приоритета прерываний и регистра запроса прерываний.

Чрезвычайно важным для работы надежной работы любого микроконтроллера является организация цепи сброса. Микроконтроллеры РССР Z8 имеют достаточно сложную структуру цепи сброса, которая учитывает максимальное количество причин, требующих приведения схемы процессора в исходное состояние. Старшая модель Z86E40 имеет специальный вывод RST, на котором возникновение низкого уровня сигнала может являться внешней причиной сброса процессора. Это удобно, если в качестве внешнего источника сброса используется специальная кнопка или схема интегрального супервизора, осуществляющего, например, мониторинг питания, или анализирующего состояние шин обмена процессора с внешней памятью. Однако даже если не использовать механизм внешнего сброса для кристалла Z86E40 (а у младших членов семейства это и невозможно, так как они не имеют отдельного вывода RST), то при включении питания любой из процессоров РССР Z8 все равно запустится. Это обеспечивает специальная внутренняя цепь генерации сигнала “Сброс”, которая срабатывает при переходе напряжения питания контроллера через определенную границу ( $\sim 2/3 U_{\text{питания}}$ ). Уровень границы определяется тактовой частотой процессора и значением температуры окружающей среды.

В качестве еще одной причины, которая может привести к переводу контроллера в исходное состояние, является работа специального узла сторожевого таймера. Этот узел контроллера имеет отдельный генератор, никак не связанный со схемой тактового генератора. С помощью специального регистра можно установить период срабатывания WDT. Если на протяжении этого периода WDT не сброшен программно, он переполняется, результатом чего является сброс контроллера. Таким образом, значительно снижается вероятность сбоя процессора, связанная, как правило, с зависанием программного обеспечения.

Кроме того, микроконтроллеры Z8 имеют полезный механизм автоматического запуска WDT при включении питания. Поэтому программно WDT запускать необязательно: прибор выполнит это автоматически, как только напряжение питания схемы превысит  $\sim 3.5$  В, что, в конечном счете, приводит к значительной устойчивости микропроцессорной системы при краевых условиях и флуктуациях питания.

### 5.6.2. Контроллеры с расширенным набором функций

Контроллеры РССР Z8 с расширенным набором функций предназначены для решения задач, требующих расширения стандартной архитектуры семейства за счет как усовершенствования традиционных, так и введения новых периферийных узлов. Основным достоинством микроконтроллеров семейства РССР Z8 является их высокая надежность и высокое отношение производительности к цене прибора с учетом общей стоимости разработки. Доказательство этого можно увидеть, если посмотреть, на какой элементной базе построены схемы управления большинства устройств, которые окружают нас в повседневной жизни, — компьютерные клавиатуры и манипуляторы, кофемолки и микроволновые печи, пульты дистанционного управления телевизоров и видеоманитов, приборы автомобильной электроники и преобразователи электроэнергии. Во многих типах этих и множества других устройств используют контроллеры РССР Z8. В приборах, выпускаемых массово, используются не однократно “прошиваемые” члены семейства, а контроллеры с масочным ПЗУ (Z8Cxx и Z8Lxx). Однако сам факт их выбора большим количеством зарубежных производителей в качестве основного элемента системы управления для изделий широкого потребления приборов семейства РССР Z8 говорит о надежности и рациональности использования этих микросхем при создании продукции массового спроса.

Фирма Zilog выпускает контроллеры семейства РССР Z8 в двух исполнениях, различие между которыми определяется диапазоном рабочих температур, в которых может функционировать прибор. Доступны приборы с индексом S — стандартный температурный диапазон  $0 \dots +70^\circ\text{C}$  и E — расширенный температурный диапазон  $-40 \dots +105^\circ\text{C}$ . Несмотря на некоторое увеличение цены на приборы расширенного диапазона, никаких специальных мер или особых доработок при их изготовлении не выполняется. Просто наличие индекса E в аббревиатуре обозначения контроллера говорит о том, что он прошел специальную проверку, гарантирующую соблюдение всех характеристик и режимов работы в расширенном температурном диапазоне, в отличие от приборов с индексом S, которые такой проверке не подвергались или были в ходе ее отбракованы.

## 5.6.3. Разработка программного обеспечения

Фирмой Zilog был разработан полномасштабный дешевый эмулятор-программатор Z8ССР00ZEM, специально предназначенный для работы только с процессорами РССР Z8. Он продается фирмой, в соответствии с собственной протекционистской по отношению к пользователям политикой, по заниженной демпинговой цене, так как даже если попытаться оценить суммарную стоимость всех входящих в состав этого прибора компонентов, то эта сумма превысит цену готового Z8ССР00ZEM. Такой шаг Zilog не может не привлечь разработчиков микропроцессорных устройств к семейству Z8. Эмулятор-программатор позволяет производить полномасштабный процесс отладки управляющей программы, эмулируя в реальном масштабе времени работу контроллера выбранного типа, а затем “прошивать” подготовленное и отлаженное программное обеспечение в дешевые кристаллы. Таким образом, надобность в различных искусственных симуляторах, платах-конструкторах, программных отладочных мониторах и т.д., которые либо не дают возможности работы в реальном масштабе времени, либо сжирают значительное количество ресурсов самого процессора, отпадает.

Эмулятор Z8ССР00ZEM соединяется с персональным компьютером разработчика через СОМ-порт и питается от автономного источника питания +9 В. Для связи с макетом пользователя схема эмулятора содержит специальные шлейфы для различных типов корпусов эмулируемых кристаллов (DIP18, DIP28, DIP40). Напряжение питания и тактирование отлаживаемого приложения пользователя может производиться как с платы самого эмулятора, так и непосредственно с макета пользователя. Со стороны пользователя эмулятор поддерживается современной интегрированной оболочкой, которая специально разработана для использования в среде WindowsNT/Win95. В качестве эмуляционного кристалла в составе эмулятора используется специализированный DSP-процессор, позволяющий в реальном масштабе времени работать с любым мыслимым количеством точек останова, оперативно наблюдать и изменять содержимое всех ресурсов отлаживаемого прибора; не покидая интегрированной оболочки, корректировать отлаживаемую программу, включая отладку в исходном коде ассемблера, а также реализовывать пошаговый режим работы.

После окончательной доводки с помощью эмулятора программного обеспечения пользователь может воспользоваться этим же прибором для программирования внутренней памяти любого из микроконтроллеров семейства РССР Z8. Для того чтобы “прошить” внутреннюю однократно программируемую память программ кодом подготовленного и отлаженного с помощью эмулятора программного обеспечения, сам кристалл размещается в одной из колодок с нулевым уси-



лием, которая соответствует его корпусу. Затем пользователь посредством специального режима интегрированной оболочки выбирает тип программируемого устройства, тип внешней цепи тактового генератора, режим работы WDT, а также моду защиты памяти данных и памяти программ и осуществляет процесс программирования. После его окончания шлейф эмулятора отсоединяется от макета пользователя, а вместо него подставляется дешевый, прошитый кодом отлаженной программы микроконтроллер.

Для программирования кристаллов семейства RSCP Z8 используется бесплатно распространяемые фирмой Zilog ассемблер ZASM и макроассемблер ZMASM, совместимые с оболочками эмуляторов Z8RCP00ZEM. Доступны две интегрированные оболочки для эмуляторов: Z8ICE (хорошо работает под W3.11) и Zilog Development Studio (полнофункциональная среда отладки для W95/98/NT). Существуют также компилятор C для комбинированного программирования, интегрированная среда Z8 COMPASS фирмы Programm Language Corp., а также продукция Avocet, IAR и др. Для самостоятельной разработки начинающим пользователем программного обеспечения Z8 в Интернете можно найти симуляторы этого микроконтроллера, в частности NOICE.

## 6. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И СИСТЕМА КОМАНД MCS51

### 6.1. Общее описание

Семейство 8-разрядных микроконтроллеров MCS51 было выпущено фирмой Intel в начале 80-х годов прошлого века. Первые модификации кристаллов (около 7) были выполнены по высокоуровневой *n*-МОП (NMOS) технологии и являлись функционально завершенными однокристалльными микроЭВМ гарвардской архитектуры, один из основных принципов которой состоит в логическом разделении адресных пространств памяти программ и данных. Микроконтроллеры MCS51 являются функционально завершенными однокристалльными микроЭВМ, содержащими все необходимые узлы для работы в автономном режиме, и предназначены для реализации различных цифровых алгоритмов управления. Удачный набор периферийных устройств, возможность гибкого выбора внешней или внутренней программной памяти и приемлемая цена обеспечили этому микроконтроллеру успех на рынке. С точки зрения технологии микроконтроллер i8051 являлся для своего времени очень сложным изделием – в кристалле было использовано 128 тысяч транзисторов, что в 4 раза превышало количество транзисторов в 16-разрядном микропроцессоре i8086.

Микроконтроллер MCS51 выполнен в корпусе БИС, имеющем 40 внешних выводов. Цоколевка корпуса MCS51 и наименования выводов показаны на рис. 6.1. Для работы MCS51 требуется один источник электропитания +5 В. Через четыре программируемых порта ввода-вывода MCS51 взаимодействует со средой в стандарте TTL-схем с тремя состояниями выхода.

Корпус MCS51 имеет два вывода для подключения кварцевого резонатора, четыре вывода для сигналов, управляющих режимом работы МК, и восемь линий порта 3, которые могут быть запрограммированы пользователем на выполнение специализированных (альтернативных) функций обмена информацией со средой.

Важную роль в достижении такой высокой популярности семейства i8051 сыграла открытая политика фирмы Intel, родоначальницы архитектуры, направленная на широкое распространение лицензий на ядро 8051 среди большого количества ведущих полупроводниковых компаний мира. С развитием полупроводниковой технологии последующие версии микросхем MCS51 стали изготавливать по более

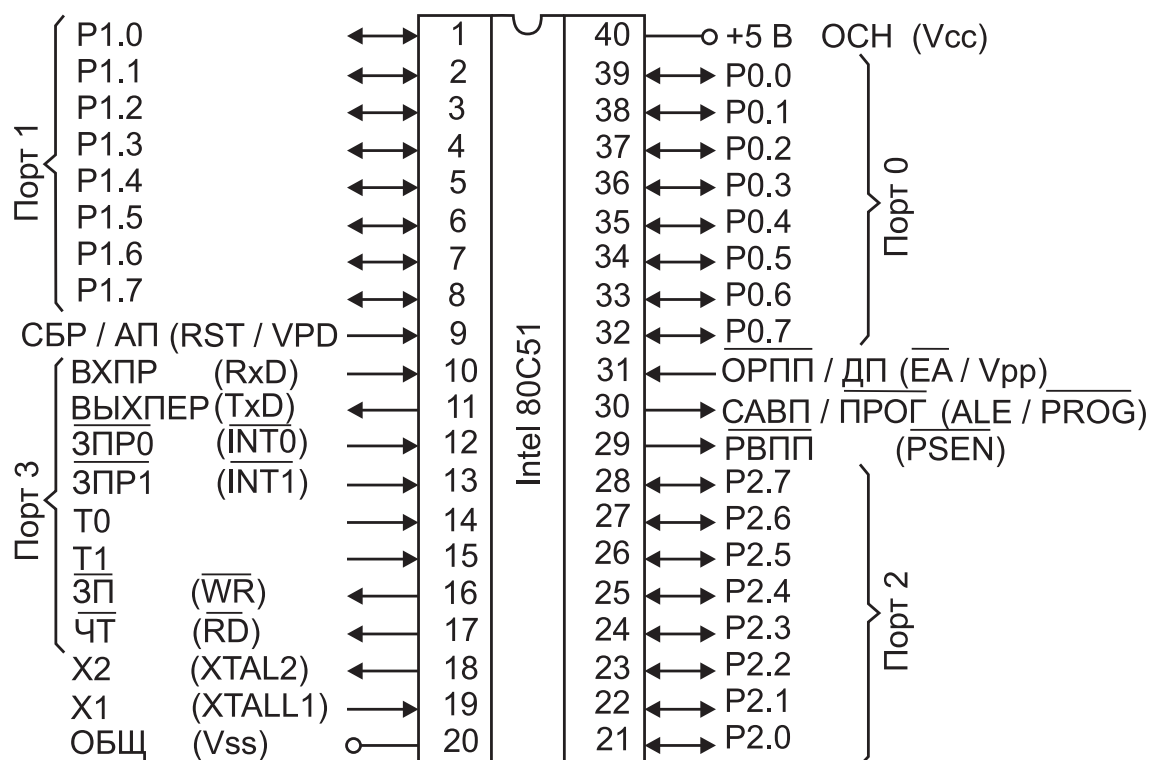


Рис. 6.1. Цоколевка корпуса MCS51 и наименование выводов

совершенной и низкопотребляющей КМОП (CMOS) технологии (в активном режиме потребление кристаллов было доведено до 10 мА).

В результате на сегодняшний день существует более 200 модификаций микроконтроллеров семейства i8051, выпускаемых двумя десятками различных компаний. Эти модификации включают в себя кристаллы с широчайшим спектром периферии: от простых 20-выводных устройств с одним таймером и 1К программной памяти до сложнейших 100-выводных кристаллов с 12-разрядными АЦП, массивами таймеров-счетчиков, аппаратными 16-разрядными умножителями и 64 Кб программной памяти на кристалле. Максимальная тактовая частота достигает 24 МГц; для отдельных групп кристаллов – 33 МГц. Каждый год появляются все новые варианты представителей этого семейства. Основными направлениями развития являются увеличение быстродействия (повышение тактовой частоты и переработка архитектуры), снижение напряжения питания и потребления, увеличение объема ОЗУ и Flash-памяти на кристалле с возможностью внутрисхемного программирования, введение в состав периферии микроконтроллера сложных устройств типа системы управления приводами, CAN и USB интерфейсов и т.п.

Все микроконтроллеры из семейства MCS51 имеют общую систему команд. Наличие дополнительного оборудования влияет только на количество регистров специального назначения. Основными про-

изводителями клонов семейства x51 в мире являются фирмы Philips, Siemens, Intel, Atmel, Dallas, Oki, AMD, MHS, Gold Star, Winbond, Temic, Silicon Systems и ряд других. В рамках СССР производство микроконтроллера 8051 осуществлялось в Киеве, Воронеже (1816BE31/51, 1830BE31/51), Минске (1834BE31) и Новосибирске (1850BE31). Микроконтроллеры данного семейства выпускаются в PLCC, DIP и QFP корпусах и могут работать в следующих температурных диапазонах: коммерческий (0...+70°C); расширенный (-40...+85°C); для военного использования (-55...+125°C). Примерами микроконтроллеров семейства MCS51 с расширенными возможностями могут служить такие изделия как 8XC51FA, 8XC51GB и 80C152.

Для подготовки математического обеспечения микроконтроллеров MCS51 используются в основном языки ASM-51, C51, для которых существует ряд достаточно хорошо зарекомендовавших себя компиляторов, библиотек стандартных подпрограмм, программных симуляторов и аппаратных эмуляторов, производимых различными зарубежными и отечественными фирмами.

### 6.2. Структурная схема MCS51

Основу структурной схемы MCS51 (рис. 6.2) образует внутренняя двунаправленная 8-битная шина, которая связывает между собой все основные узлы и устройства: резидентную память, АЛУ, блок регистров специальных функций, устройство управления и порты ввода-вывода. Рассмотрим основные элементы структуры и особенности организации вычислительного процесса в MCS51.

#### 6.2.1. Арифметико-логическое устройство

Восьмибитное АЛУ может выполнять арифметические операции сложения, вычитания, умножения и деления; логические операции И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, а также операции циклического сдвига, сброса, инвертирования и т.п. В АЛУ имеются программно недоступные регистры T1 и T2, предназначенные для временного хранения операндов, схема десятичной коррекции и схема формирования признаков.

Простейшая операция сложения используется в АЛУ для инкрементирования содержимого регистров, продвижения регистра-указателя данных и автоматического вычисления следующего адреса РПП. Простейшая операция вычитания используется в АЛУ для декрементирования регистров и сравнения переменных.

Простейшие операции автоматически образуют тандемы для выполнения в АЛУ таких операций, как, например, инкрементирование

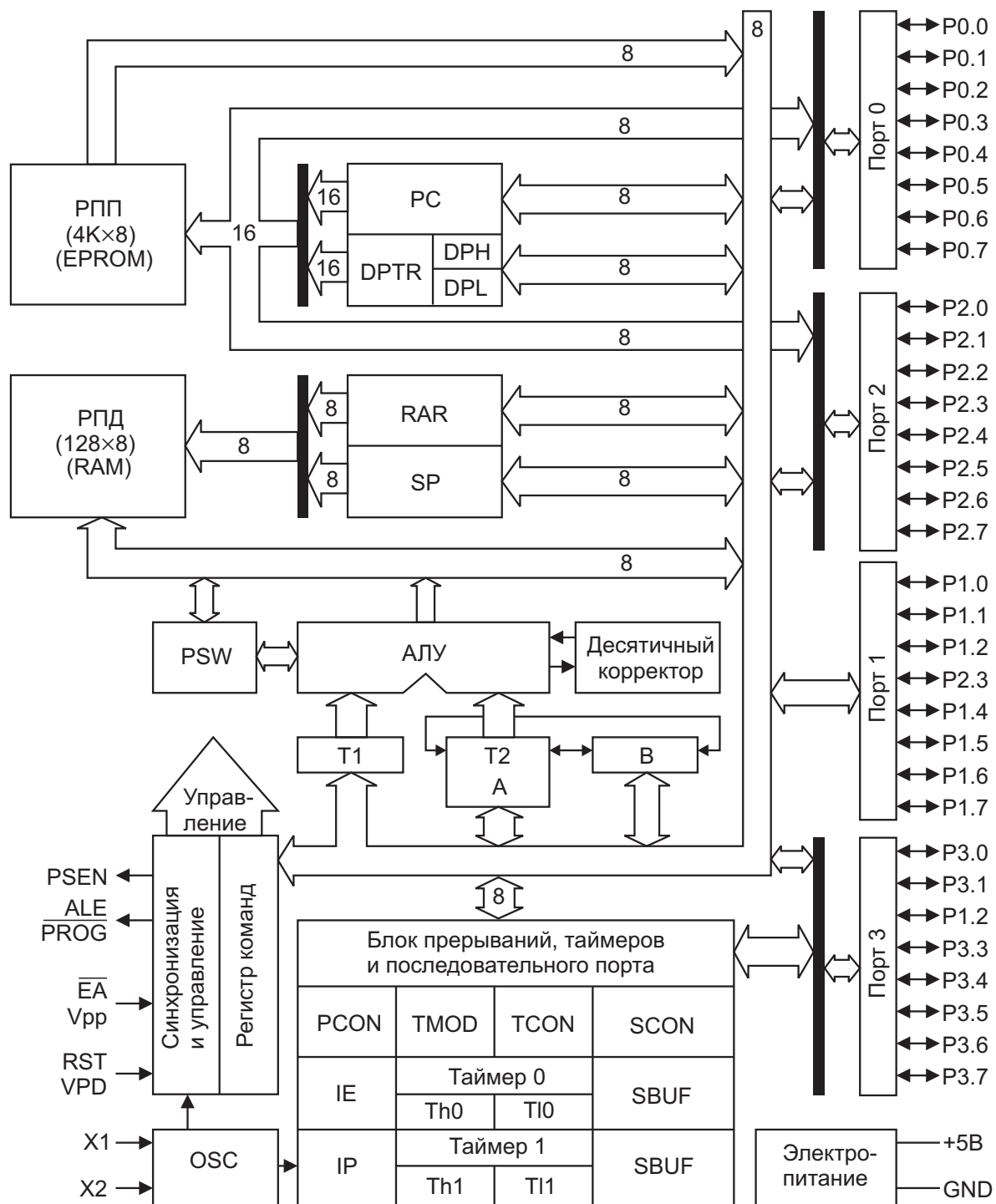


Рис. 6.2. Структурная схема MCS51

16-битных регистровых пар. В АЛУ реализуется механизм каскадного выполнения простейших операций для реализации сложных команд. Так, например, при выполнении одной из команд условной передачи управления по результату сравнения в АЛУ трижды инкрементируется счетчик команд, дважды производится чтение из РПД, выполняется арифметическое сравнение двух переменных, формируется 16-битный

адрес перехода и принимается решение о том, делать или не делать переход по программе. Все перечисленные операции выполняются в АЛУ всего лишь за 2 мкс.

Важной особенностью АЛУ является его способность оперировать не только байтами, но и битами. Отдельные программно доступные биты могут быть установлены, сброшены, инвертированы, переданы, проверены и использованы в логических операциях. Эта способность АЛУ оперировать битами столь важна, что во многих описаниях MCS51 говорится о наличии в нем булевого процессора. Для управления объектами часто применяются алгоритмы, содержащие операции над входными и выходными булевскими переменными (истина/ложь), реализация которых средствами обычных микропроцессоров сопряжена с определенными трудностями.

Таким образом, АЛУ может оперировать четырьмя типами информационных объектов: булевыми (1 бит), цифровыми (4 бита), байтными (8 бит) и адресными (16 бит). В АЛУ выполняется 51 различная операция пересылки или преобразования этих данных. Поскольку используется 11 режимов адресации (7 для данных и 4 для адресов), то путем комбинирования *операция /режим адресации* базовое число команд 111 расширяется до 255 из 256 возможных при однобайтном коде операции.

### 6.2.2. Резидентная память

Память программ и память данных, размещенные на кристалле MCS51, физически и логически разделены, имеют различные механизмы адресации, работают под управлением различных сигналов и выполняют разные функции.

#### Память программ

Память программ (ПЗУ или СППЗУ) имеет емкость 4 Кбайта и предназначена для хранения команд, констант, управляющих слов инициализации, таблиц перекодировки входных и выходных переменных и т.п. РПП имеет 16-битную шину адреса, через которую обеспечивается доступ из счетчика команд или из регистра - указателя данных. Последний выполняет функции базового регистра при косвенных переходах по программе или используется в командах, оперирующих с таблицами.

#### Память данных

Память данных (ОЗУ) предназначена для хранения переменных в процессе выполнения прикладной программы, адресуется одним бай-

том и имеет емкость 128 байт. Кроме того, к адресному пространству РПД (табл. 6.1) примыкают адреса регистров специальных функций (РСФ). Память программ, так же как и память данных, может быть расширена до 64 Кбайт путем подключения внешних БИС.

### Аккумулятор и регистр PSW

Аккумулятор является источником операнда и местом фиксации результата при выполнении арифметических, логических операций и ряда операций передачи данных. Только с использованием аккумулятора могут быть выполнены операции сдвигов, проверка на нуль, формирование флага паритета и т.п.

При выполнении многих команд в АЛУ формируется ряд признаков операции (флагов), которые фиксируются в регистре слова состояния программы (**Program State Word – PSW**). В табл. 6.2 приводится перечень флагов PSW, даются их символические имена и описываются условия их формирования. Наиболее *активным* флагом PSW является флаг переноса, который принимает участие и модифицируется в процессе выполнения множества операций, включая сложение, вычитание и сдвиги. Флаг переноса (C) выполняет также функции *булевого аккумулятора* в командах, манипулирующих битами. Флаг переполнения (OV) фиксирует арифметическое переполнение при операциях над целыми числами со знаком и делает возможным использование арифметики в дополнительных кодах. АЛУ не управляет флагами селекции банка регистров (RS0, RS1), и их значение полностью определяется прикладной программой и используется для выбора одного из четырех регистровых банков. Широкое распространение получило представление о том, что в микропроцессорах, архитектура которых опирается на аккумулятор, большинство команд работают с ним, используя адресацию *по умолчанию* (неявную). В MCS51 дело обстоит иначе. Хотя процессор в MCS51 имеет в своей основе аккумулятор, однако он может выполнять множество команд и без участия аккумулятора. Например, данные могут быть переданы из любой ячейки РПД в любой регистр, любой регистр может быть загружен непосредственным операндом и т.д. Многие логические операции могут быть выполнены без участия аккумулятора. При этом переменные могут быть инкрементированы, декрементированы и проверены (test) без использования аккумулятора. Флаги и управляющие биты могут быть проверены и изменены аналогично.

### Регистры-указатели

Восьмибитный указатель стека (SP) может адресовать любую заданную область РПД. Его содержимое инкрементируется прежде, чем

Таблица 6.1. Блок регистров специальных функций

| Символ | Наименование                    | Адрес | Исходное состояние |
|--------|---------------------------------|-------|--------------------|
| * ACC  | Аккумулятор                     | 0E0H  | 00H                |
| * B    | Расширитель аккумулятора        | 0F0H  | 00H                |
| * PSW  | Слово состояния программы       | 0D0H  | 00H                |
| SP     | Указатель стека                 | 81H   | 07H                |
| DPTR   | Указатель данных (DPH)<br>(DPL) | 83H   | 00H                |
|        |                                 | 82H   | 00H                |
| * P0   | Порт 0                          | 80H   | 0FFH               |
| * P1   | Порт 1                          | 90H   | 0FFH               |
| * P2   | Порт 2                          | 0A0H  | 0FFH               |
| * P3   | Порт 3                          | 0B0H  | 0FFH               |
| * IP   | Приоритеты прерываний           | 0B8H  | xxx00000B          |
| * IE   | Маски прерываний                | 0A8H  | 0xx00000B          |
| TMOD   | Режим таймера/счетчика          | 89H   | 00H                |
| * TCON | Управление/статус таймера       | 88H   | 00H                |
| TH0    | Таймер 0 (старший байт)         | 8CH   | 00H                |
| TL0    | Таймер 0 (младший байт)         | 8AH   | 00H                |
| TH1    | Таймер 1 (старший байт)         | 8DH   | 00H                |
| TL1    | Таймер 1 (младший байт)         | 8BH   | 00H                |
| * SCON | Управление приемопередатчиком   | 98H   | 00H                |
| SBUF   | Буфер приемопередатчика         | 99H   | xxxxxxxxB          |
| PCON   | Управление мощностью            | 87H   | 0xxxxxxxxB         |

**Примечание.** Регистры, имена которых отмечены знаком (\*), допускают адресацию отдельных битов в соответствии с картой адресуемых битов (рис. 6.19); Исходное состояние – значение регистров после начального сброса.

данные будут запомнены в стеке в ходе выполнения команд PUSH и CALL. Содержимое регистра SP декрементируется после выполнения команд POP и RET. Подобный способ адресации элементов стека называют предынкrementным/постдекрементным. В процессе инициализации MCS51 после сигнала RST в регистр SP автоматически загружается код 07H. Это значит, что если прикладная программа не переопределяет стек, то первый элемент данных в стеке будет располагаться в ячейке РПД с адресом 08H. Двухбайтный регистр-указатель данных (DPTR) обычно используется для фиксации 16-битного адреса в операциях с обращением к внешней памяти. Командами MCS51 регистр-указатель данных может быть использован или как 16-битный регистр, или как два независимых 8-битных регистра (DPH и DPL).



Таблица 6.2. Формат слова состояния программы (PSW)

| Символ | Позиция | Имя и назначение                                                                                                                                                                          |
|--------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C      | PSW.7   | Флаг переноса. Устанавливается и сбрасывается аппаратурными средствами или программой при выполнении арифметических и логических операций                                                 |
| AC     | PSW.6   | Флаг вспомогательного переноса. Устанавливается и сбрасывается только аппаратурными средствами при выполнении команд сложения и вычитания. Он сигнализирует о переносе или займе в бите 3 |
| F0     | PSW.5   | Флаг F0. Может быть установлен, сброшен или проверен программой как флаг, специфицируемый пользователем                                                                                   |
| RS1    | PSW.4   | Выбор банка регистров. Устанавливается и сбрасывается программой для выбора рабочего банка регистров (см. примечание)                                                                     |
| RS0    | PSW.3   | Выбор банка регистров. Устанавливается и сбрасывается программой для выбора рабочего банка регистров (см. примечание)                                                                     |
| OV     | PSW.2   | Флаг переполнения. Устанавливается и сбрасывается аппаратурно при выполнении арифметических операций                                                                                      |
| –      | PSW.1   | Не используется                                                                                                                                                                           |
| P      | PSW.0   | Флаг паритета. Устанавливается и сбрасывается аппаратурно в каждом цикле команды и фиксирует нечетное/четное число единичных битов в аккумуляторе, т.е. выполняет контроль по четности    |

**Примечание.** Выбор рабочего банка регистров

| RS1 | RS0 | Банк | Границы адресов |
|-----|-----|------|-----------------|
| 0   | 0   | 0    | 00H–07H         |
| 0   | 1   | 1    | 08H–0FH         |
| 1   | 0   | 2    | 10H–17H         |
| 1   | 1   | 3    | 18H–1FH         |

### Таймер/счетчик

В составе средств MCS51 имеются регистровые пары с символическими именами TH0, TL0 и TH1, TL1, на основе которых функционируют два независимых программно-управляемых 16-битных таймера/счетчика событий.

### Буфер последовательного порта

Регистр с символическим именем SBUF представляет собой два независимых регистра – буфер приемника и буфер передатчика. Загрузка байта в SBUF немедленно вызывает начало процесса передачи через последовательный порт. Если байт считывается из SBUF, это значит, что его источником является приемник последовательного порта.

### Регистры специальных функций

Регистры с символическими именами IP, TMOD, IE, TCON, SCON и PCON используются для фиксации и программного изменения управляющих битов и битов состояния таймера/счетчика, схемы прерывания, приемопередатчика последовательного порта и для управления мощностью электропитания MCS51. Их организация будет описана ниже при рассмотрении особенностей работы MCS51 в различных режимах.

#### 6.2.3. Устройство управления и синхронизации

Кварцевый резонатор, подключаемый к внешним выводам X1 и X2 корпуса MCS51, управляет работой внутреннего генератора, который в свою очередь формирует сигналы синхронизации.

Устройство управления MCS51 на основе сигналов синхронизации формирует машинный цикл фиксированной длительности, равной 12 периодам резонатора или шести состояниям первичного управляющего автомата (S1–S6). Каждое состояние управляющего автомата содержит две фазы (P1, P2) сигналов резонатора. В фазе P1, как правило, выполняется операция в АЛУ, а в фазе P2 осуществляется межрегистровая передача. Весь машинный цикл состоит из 12 фаз, начиная с фазы S1P1 и кончая фазой S6P2, как показано на рис. 6.3. Эта временная диаграмма иллюстрирует работу устройства управления MCS51 при выборке и исполнении команд различной степени сложности. Все заштрихованные сигналы являются внутренними и недоступны пользователю MCS51 для контроля. Внешними, наблюдаемыми сигналами являются только сигналы резонатора и выходной сигнал разрешения

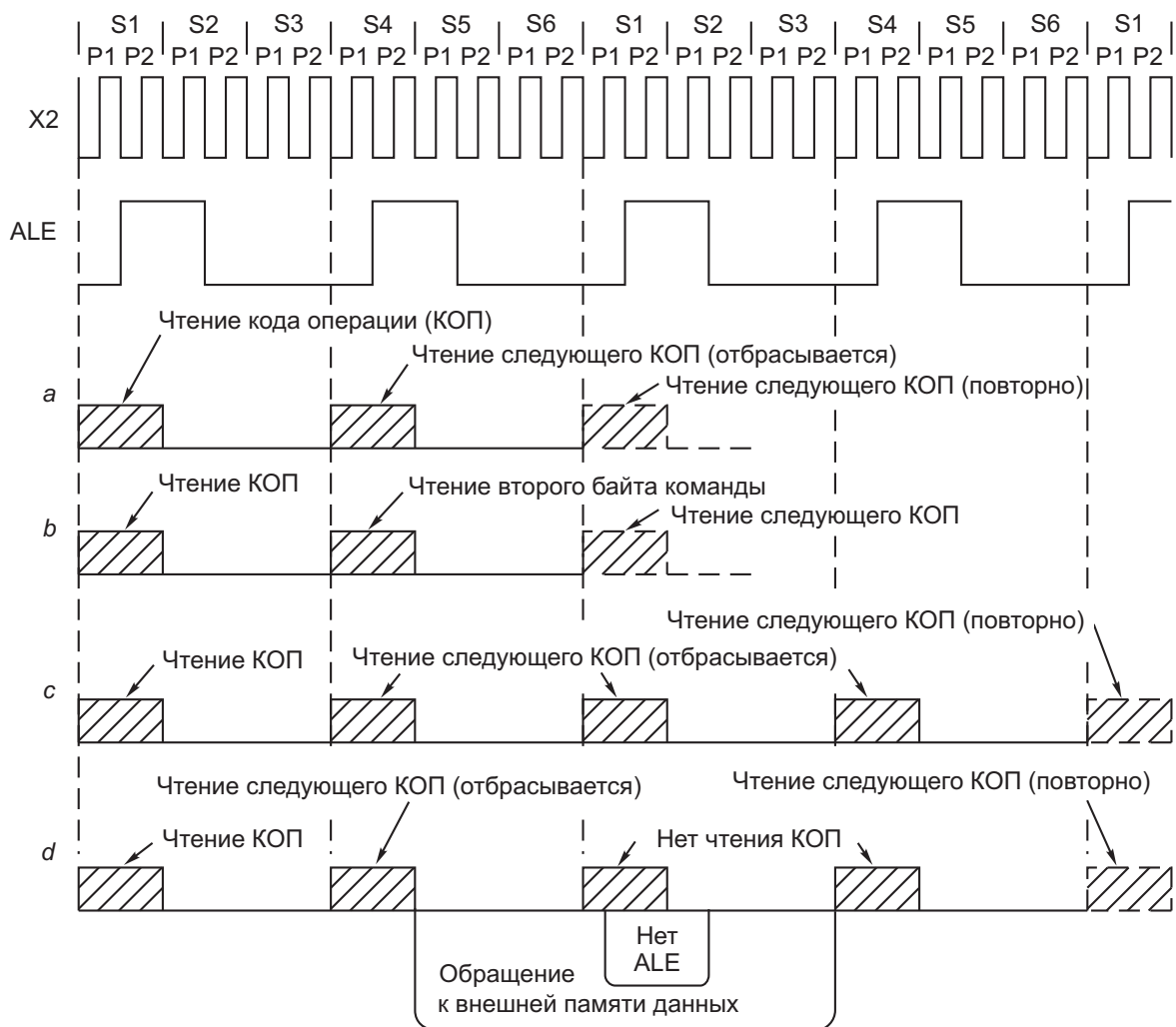


Рис. 6.3. Последовательности выборки и выполнения команд в MCS51: *a* – команда 1 байт/1 цикл, например INC A; *b* – команда 2 байта/1 цикл, например ADD A, #d; *c* – команда 1 байт/2 цикла, например INC DPTR; *d* – команда 1 байт/2 цикла, например MOVX

фиксации адреса внешней памяти (ALE). Как видно из временной диаграммы, строб адреса ALE формируется дважды за один машинный цикл (S1P2–S2P1 и S4P2–S5P1) и используется для управления процессом обращения к внешней памяти.

На рис. 6.3 приведены временные диаграммы выполнения некоторых команд MCS51, различающихся длиной и временем выполнения. Большинство команд MCS51 выполняется за один машинный цикл. Это могут быть как однобайтные команды (рис. 6.3, *a*), так и двухбайтные с непосредственным операндом (рис. 6.3, *b*). Некоторые команды, оперирующие с 2-байтными словами (рис. 6.3, *c*) или связанные с обращением к внешней памяти (рис. 6.3, *d*), выполняются за два машинных цикла. Только команды деления и умножения требуют четырех машинных циклов. На основе этих особенностей работы устройства управления MCS51 производится расчет времени исполнения прикладных программ.

## 6.2.4. Порты ввода-вывода информации

Все четыре порта MCS51 предназначены для ввода или вывода информации побайтно. Схемотехника портов ввода-вывода MCS51 для одного бита показана на рис. 6.4 (порты 1 и 2 имеют примерно такую же структуру, как и порт 3). Каждый порт содержит управляемые регистр-защелку, входной буфер и выходной драйвер.

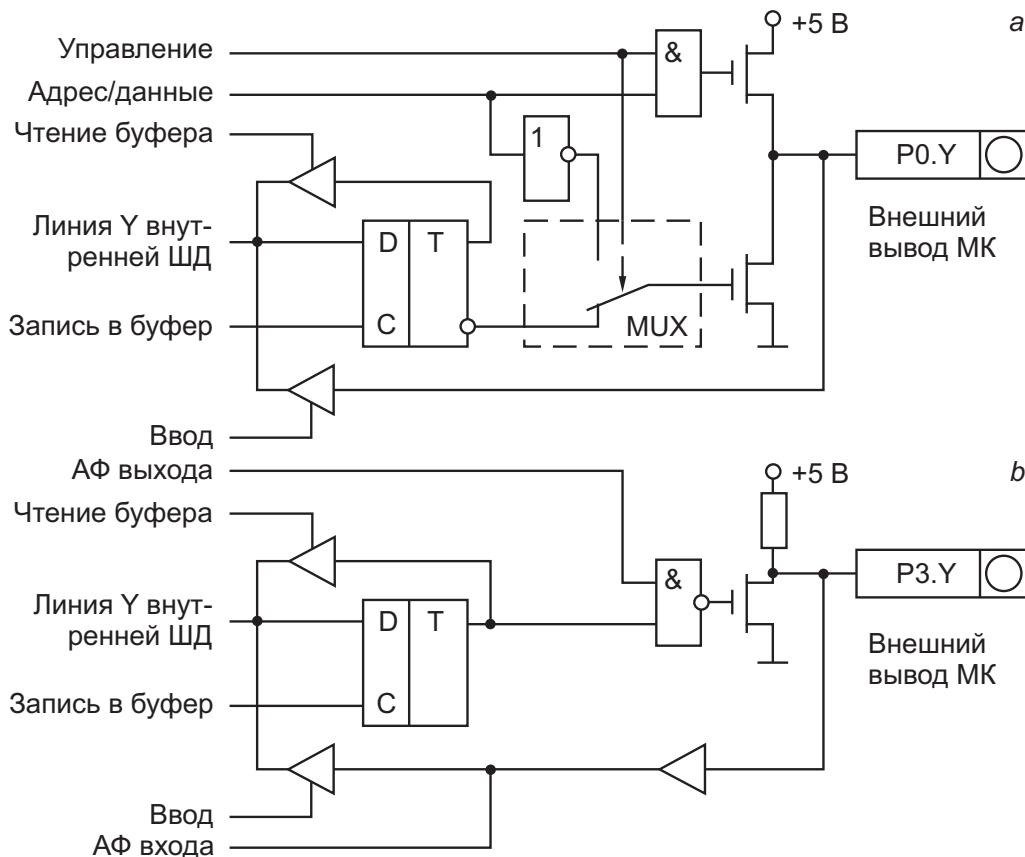


Рис. 6.4. Схемотехника портов ввода-вывода MCS51: а – порт 0; б – порт 3

Выходные драйверы портов 0 и 2, а также входной буфер порта 0 используются при обращении к внешней памяти (ВП). При этом через порт 0 в режиме временного мультиплексирования сначала выводится младший байт адреса ВП, а затем выдается или принимается байт данных. Через порт 2 выводится старший байт адреса в тех случаях, когда разрядность адреса равна 16 бит.

Все выходы порта 3 могут быть использованы для реализации альтернативных функций (АФ), перечисленных в табл. 6.3. Альтернативные функции могут быть задействованы путем записи 1 в соответствующие биты регистра-защелки (P3.0...P3.7) порта 3. Порт 0 является двунаправленным, а порты 1, 2 и 3 – квазидвунаправленными. Каждая линия портов может быть использована независимо для ввода или вывода информации. Для того чтобы некоторая линия порта ис-

Таблица 6.3. Альтернативные функции порта 3

| Символ            | Позиция | Имя и назначение                                                                                           |
|-------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\overline{RD}$   | P3.7    | Чтение. Активный сигнал низкого уровня формируется аппаратурно при обращении к ВПД                         |
| $\overline{WR}$   | P3.6    | Запись. Активный сигнал низкого уровня формируется аппаратурно при обращении к ВПД                         |
| T1                | P3.5    | Вход таймера/счетчика 1 или тест-вход                                                                      |
| T0                | P3.4    | Вход таймера/счетчика 0 или тест-вход                                                                      |
| $\overline{INT1}$ | P3.3    | Вход запроса прерывания 1. Воспринимается сигнал низкого уровня или срез                                   |
| $\overline{INT0}$ | P3.2    | Вход запроса прерывания 0. Воспринимается сигнал низкого уровня или срез                                   |
| TXD               | P3.1    | Выход передатчика последовательного порта в режиме УАПП. Выход синхронизации в режиме сдвигающего регистра |
| RXD               | P3.0    | Вход приемника последовательного порта в режиме УАПП. Ввод-вывод данных в режиме сдвигающего регистра      |

пользовалась для ввода, в  $D$ -триггер регистра-защелки порта должна быть записана 1, которая закрывает МОП-транзистор выходной цепи. По сигналу RST в регистры-защелки всех портов автоматически записываются единицы, настраивающие их тем самым на режим ввода. Все порты могут быть использованы для организации ввода-вывода информации по двунаправленным линиям передачи. Однако порты 0 и 2 не могут быть использованы для этой цели в случае, если микроконтроллер имеет внешнюю память, связь с которой организуется через общую разделяемую шину адреса/данных, работающую в режиме временного мультиплексирования.

**Запись в порт.** При выполнении команды, которая изменяет содержимое регистра-защелки порта, новое значение фиксируется в регистре в момент S6P2 последнего цикла команды. Однако опрос содержимого регистра-защелки выходной схемой осуществляется во время фазы P1 и, следовательно, новое содержимое регистра-защелки появляется на выходных контактах порта только в момент S1P1 следующего машинного цикла.

**Нагрузочная способность портов.** Выходные линии портов 1, 2 и 3 могут работать на одну ТТЛ-схему. Линии порта 0 могут быть нагружены на два входа ТТЛ-схем каждая. Линии порта 0 могут работать и на *n*-МОП-схемы. Однако при этом их необходимо подключать на источник электропитания через внешние нагрузочные резисторы, за исключением случая, когда шина порта 0 используется в качестве шины адреса/данных внешней памяти.

Входные сигналы для MCS51 могут формироваться ТТЛ-схемами или *n*-МОП-схемами. Допустимо использование в качестве источников сигналов для MCS51 схем с открытым коллектором или открытым стоком. Однако при этом время изменения входного сигнала при переходе из 0 в 1 окажется сильно затянутым.

**Особенности работы портов.** Обращение к портам ввода-вывода возможно с использованием команд, оперирующих с байтом, отдельным битом и произвольной комбинацией бит. При этом в тех случаях, когда порт является одновременно операндом и местом назначения результата, устройство управления автоматически реализует специальный режим, который называется *чтение-модификация-запись*. Этот режим обращения предполагает ввод сигналов не с внешних выводов порта, а из его регистра-защелки, что позволяет исключить неправильное считывание ранее выведенной информации. Подобный механизм обращения к портам реализован в следующих командах:

**ANL** – логическое И, например ANL P1,A;  
**ORL** – логическое ИЛИ, например ORL P2,A;  
**XRL** – исключающее ИЛИ, например XRL P3,A;  
**JBC** – переход, если в адресуемом бите единица, и последующий сброс бита, например JBC P1.1,LABEL;  
**CPL** – инверсия бита, например CPL P3.3;  
**INC** – инкремент порта, например INC P2;  
**DEC** – декремент порта, например DEC P2;  
**DJNZ** – декремент порта и переход, если его содержимое не равно нулю, например DJNZ P3,LABEL;  
**MOV PX.Y,C** – передача бита переноса в бит Y порта X;  
**SET PX.Y** – установка бита Y порта X;  
**CLR PX.Y** – сброс бита Y порта X.

Совсем не очевидно, что последние три команды в приведенном списке являются командами *чтение-модификация-запись*. Однако это именно так. По этим командам сначала считывается байт из порта, а затем записывается новый байт в регистр-защелку.

Причиной, по которой команды *чтение – модификация – запись* обеспечивают отдельный доступ к регистру-защелке порта и к внеш-

ним выводам порта, является необходимость исключения возможности неправильного прочтения уровней сигналов на внешних выводах. Для примера предположим, что линия Y порта X соединяется с базой мощного транзистора и выходной сигнал на ней предназначен для его управления. Когда в данный бит записана 1, то транзистор включается. Если для проверки состояния исполнительного механизма (в нашем случае – мощного транзистора) прикладной программе требуется прочитать состояние выходного сигнала в том же бите порта, то считывание сигнала с внешнего вывода порта, а не из D-триггера регистра-защелки порта приведет к неправильному результату: единичный сигнал на базе транзистора имеет относительно низкий уровень и будет интерпретирован в микроконтроллере как сигнал 0. Команды *чтение–модификация–запись* реализуют считывание из регистра-защелки, а не с внешнего вывода порта, что обеспечивает получение правильного значения 1.

На рис. 6.5 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие процесс выполнения операций ввода-вывода информации через порты MCS51.

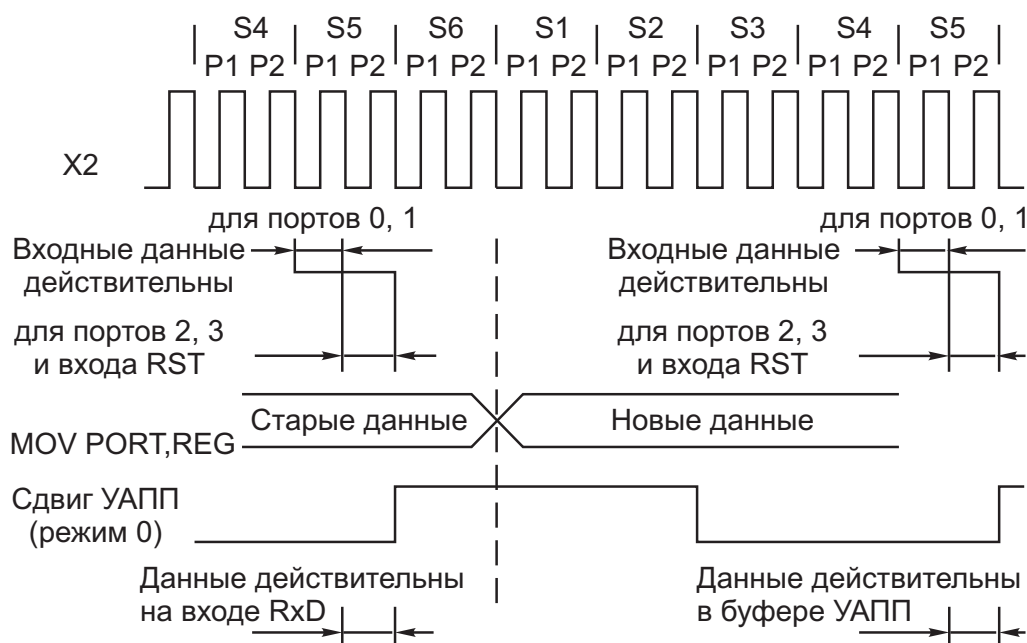


Рис. 6.5. Временные диаграммы операций ввода-вывода

### 6.2.5. Доступ к внешней памяти

В микроконтроллерных системах, построенных на основе MCS51, возможно использование двух типов внешней памяти: постоянной памяти программ (ВПП) и оперативной памяти данных (ВПД). Доступ

к ВПП осуществляется при помощи управляющего сигнала  $\overline{\text{PSEN}}$ , который выполняет функцию строб-сигнала чтения. Доступ к ВПД обеспечивается управляющими сигналами  $\overline{\text{RD}}$  и  $\overline{\text{WR}}$ , которые формируются в линиях P3.7 и P3.6 при выполнении портом P3 альтернативных функций (см. табл. 6.3).

При обращении к ВПП всегда используется 16-битный адрес. Доступ к ВПД возможен с использованием 16-битного адреса ( $\text{MOVX A,@DPTR}$ ) или 8-битного адреса ( $\text{MOVX A,@Ri}$ ). В любых случаях использования 16-битного адреса старший байт адреса фиксируется (и сохраняется неизменным в течение одного цикла записи или чтения) в регистре-защелке порта P2.

Если очередной цикл внешней памяти ( $\text{MOVX A,@DPTR}$ ) следует не сразу же за предыдущим циклом внешней памяти, то неизменяемое содержимое регистра-защелки порта P2 восстанавливается в следующем цикле. Если используется 8-битный адрес ( $\text{MOVX A,@Ri}$ ), то содержимое регистра-защелки порта P2 остается неизменным на его внешних выводах в течение всего цикла внешней памяти.

Через порт P0 в режиме временного мультиплексирования осуществляется выдача младшего байта адреса и передача байта данных. Сигнал ALE должен быть использован для записи байта адреса во внешний регистр. Затем в цикле записи выводимый байт данных появляется на внешних выводах порта P0 только перед появлением сигнала  $\overline{\text{WR}}$ . В цикле чтения вводимый байт данных принимается в порт P0 по фронту стробирующего сигнала  $\overline{\text{RD}}$ . При любом обращении к внешней памяти устройство управления MCS51 загружает в регистр-защелку порта P0 код 0FFH, стирая тем самым информацию, которая могла в нем храниться.

Доступ к ВПП возможен при выполнении двух условий: либо на вход отключения резидентной памяти программ (EA) подается активный сигнал, либо содержимое счетчика команд превышает значение 0FFFH. Наличие сигнала  $\overline{\text{EA}}$  необходимо для обеспечения доступа к младшим 4К адресам адресного пространства ВПП при использовании МК31 (микроконтроллера без резидентной памяти программ).

Временные диаграммы на рис. 6.6 иллюстрируют процесс генерации управляющих сигналов ALE и  $\overline{\text{PSEN}}$  при обращении к внешней памяти.

Основная функция сигнала ALE – обеспечить временное согласование передачи из порта P0 на внешний регистр младшего байта адреса в цикле чтения из ВПП. Сигнал ALE приобретает значение 1 дважды в каждом машинном цикле. Это происходит даже тогда, когда в цикле выборки нет обращения к ВПП. Доступ к ВПД возможен только в том случае, если сигнал ALE отсутствует. Первый сигнал



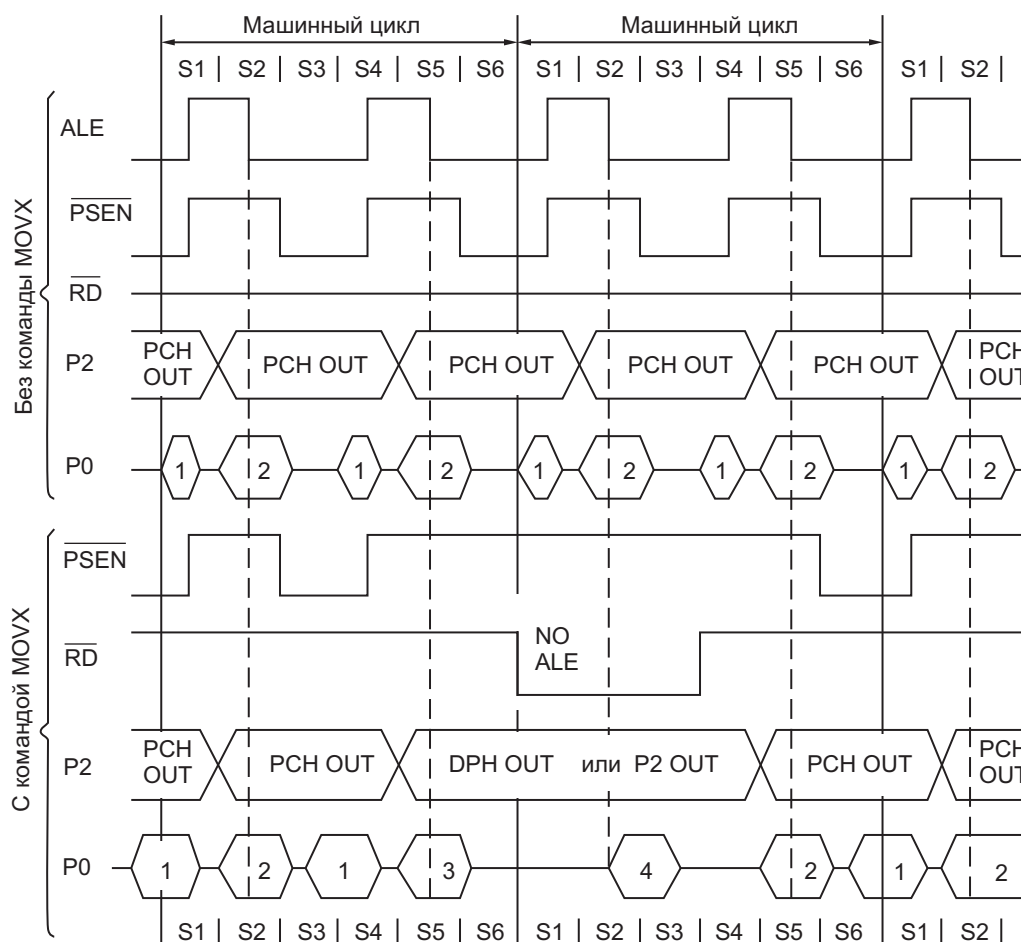


Рис. 6.6. Временные диаграммы операций с обращением к внешней памяти

ALE во втором машинном цикле команды MOVX блокируется. Следовательно, в любой МК-системе, не использующей ВПД, сигнал ALE генерируется с постоянной частотой, равной 1/16 частоты резонатора, и может быть использован для синхронизации внешних устройств или для реализации различных временных функций.

При обращении к РПП сигнал PSEN не генерируется, а при обращении к ВПП он выполняет функцию строб-сигнала чтения. Полный цикл чтения ВПД, включая установку и снятие сигнала RD, занимает 12 машинных тактов (периодов тактового генератора).

Временные диаграммы на рис. 6.7 и 6.8 иллюстрируют процесс выборки команды из ВПП и работу ВПД в режимах чтения и записи соответственно.

**Особый режим работы MCS51.** Содержимое памяти программ MCS51 заполняется единожды на этапе разработки МК-системы и не может быть модифицировано в завершённом (конечном) изделии. По этой причине микроконтроллеры не являются машинами класси-

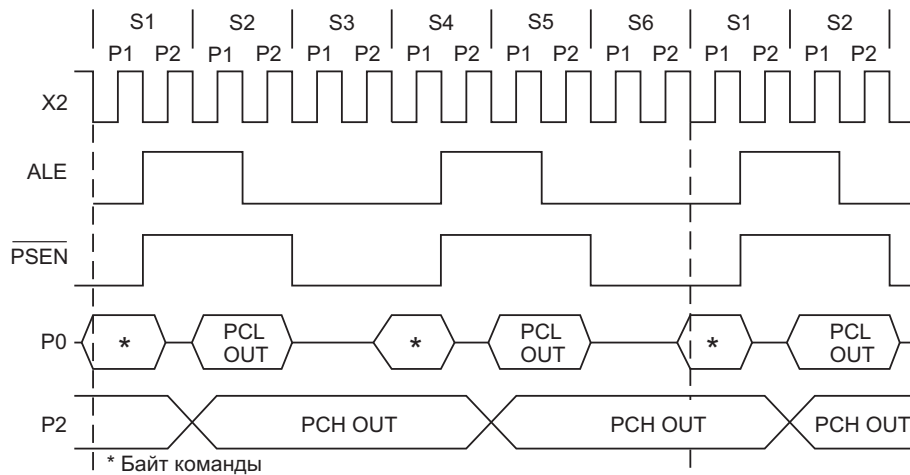


Рис. 6.7. Временная диаграмма выборки команды из ВПП

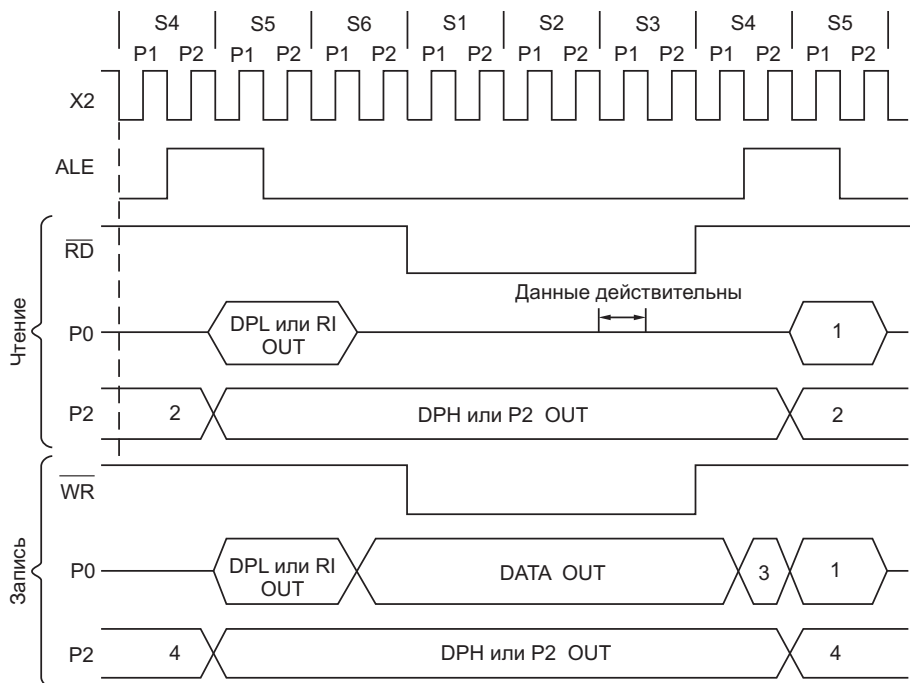


Рис. 6.8. Временная диаграмма работы с ВПД: 1 – PCL OUT, если используется ВПП; 2 – DPH или P2; 3 – PCL OUT; 4 – PCH или P2

ческой *фон неймановской* архитектуры. Оперативная память данных (резидентная или внешняя) не может быть использована для хранения кодов программы, так как в МК выборка команд производится только из области адресов памяти программ. Эта особенность архитектуры МК объясняется тем, что в большинстве применений МК требуется наличие одной неизменяемой прикладной программы, хранимой в ПЗУ, наличие ОЗУ небольшой емкости для временного хранения переменных и эффективных, а следовательно, разных методов адресации памяти программ и памяти данных. Однако на этапе раз-

работки и отладки прикладных программ машина *фон неймановского* типа оказывается очень удобной, так как позволяет разработчику оперативно изменять коды прикладной программы, размещаемой в ОЗУ. С этой целью МК-система может быть модифицирована для совмещения адресного пространства ВПП и ВПД путем подключения внешней логики (рис. 6.9). Здесь на выходе схемы И формируется строб-сигнал

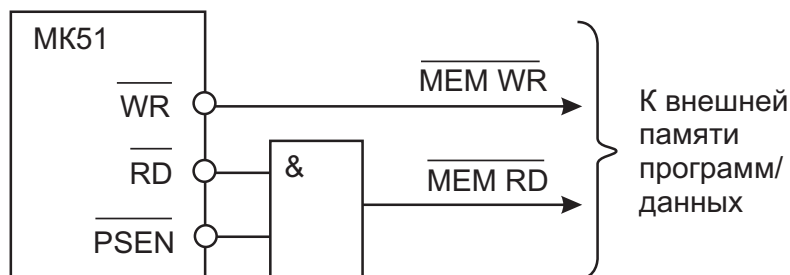


Рис. 6.9. Схема совмещения адресного пространства ВПП и ВПД

чтения, который может быть использован для объединения памяти программ и памяти данных во внешнем ОЗУ. При этом необходимо учитывать, что в MCS51 на схемном уровне реализуются пять различных и независимых механизмов адресации для доступа к РПП, РПД, ВПП, ВПД и блоку регистров специальных функций. Вследствие этого перемещаемая версия прикладной программы, которая отлаживается в среде внешней памяти программ/данных, будет отличаться от загружаемой в РПП (окончательной) версии программы.

Подобный способ организации управления внешней памятью может быть использован в тех применениях MCS51, где требуется оперативная перезагрузка или модификация прикладных программ (с помощью УВВ), как в ЭВМ классической архитектуры.

### 6.2.6. Таймер/счетчик

Два программируемых 16-битных таймера/счетчика (Т/С0 и Т/С1) могут быть использованы в качестве таймеров или счетчиков внешних событий. При работе в качестве таймера содержимое Т/С инкрементируется в каждом машинном цикле, т.е. через каждые 12 периодов резонатора. При работе в качестве счетчика содержимое Т/С инкрементируется под воздействием перехода из 1 в 0 внешнего входного сигнала, подаваемого на соответствующий (Т0, Т1) вывод MCS51. Опрос значения внешнего входного сигнала выполняется в момент времени S5P2 каждого машинного цикла. Содержимое счетчика будет увеличено на 1 в том случае, если в предыдущем цикле был считан входной сигнал высокого уровня (1), а в следующем – сигнал низкого уровня (0). Новое (инкрементированное) значение счетчика будет

сформировано в момент S3P1 в цикле, следующем за тем, в котором был обнаружен переход сигнала из 1 в 0. Поскольку на распознавание перехода требуется два машинных цикла, то максимальная частота подсчета входных сигналов равна  $1/24$  частоты резонатора. На длительность периода входных сигналов ограничений сверху нет. Для гарантированного прочтения входного считываемого сигнала он должен удерживать значение 1, как минимум, в течение одного машинного цикла MCS51.

Для управления режимами работы Т/С и для организации взаимодействия таймеров с системой прерывания используются два регистра специальных функций (ТМОД и ТСОН – табл. 6.4 и 6.5 соответственно). Как следует из описания управляющих бит ТМОД, для обоих Т/С режимы работы 0, 1 и 2 одинаковы. Режимы 3 для Т/С0 и Т/С1 различны. Рассмотрим кратко работу Т/С во всех четырех режимах.

**Режим 0.** Перевод любого Т/С в режим 0 делает его похожим на таймер МК48 (8-битный счетчик), на вход которого подключен 5-битный делитель частоты на 32. Работу Т/С в режиме 0 на примере Т/С1 иллюстрирует рис. 6.10,а. В этом режиме таймерный регистр имеет разрядность 13 бит. При переходе из состояния *все единицы* в состояние *все нули* устанавливается флаг прерывания от таймера TF1. Входной синхросигнал таймера 1 разрешен (поступает на вход Т/С), когда управляющий бит TR1 установлен в 1 и либо управляющий бит GATE (блокировка) равен 0, либо на внешний вывод запроса прерывания  $\overline{INT1}$  поступает уровень 1. Отметим попутно, что установка бита GATE в 1 позволяет использовать таймер для измерения длительности импульсного сигнала, подаваемого на вход запроса прерывания.

**Режим 1.** Работа любого Т/С в режиме 1 такая же, как и в режиме 0, за исключением того, что таймерный регистр имеет разрядность 16 битов.

**Режим 2.** В режиме 2 работа организована таким образом, что пересечение (переход из состояния *все единицы* в состояние *все нули*) 8-битного счетчика TL1 приводит не только к установке флага TF1 Флаги!МК51!TF1 (рис. 6.10,б, но и автоматически перезагружает в TL1 содержимое старшего байта (TH1) таймерного регистра, которое предварительно было задано программным путем. Перезагрузка оставляет содержимое TH1 неизменным. В режиме 2 Т/С0 и Т/С1 работают совершенно одинаково.

Таблица 6.4. Регистр режима работы таймера/счетчика TMOD

| Символ       | Позиция | Имя и назначение                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GATE         | TMOD.7  | Управление блокировкой T/C1. Если бит установлен, то таймер/счетчик 1 разрешен до тех пор, пока на входе INT1 высокий уровень и бит управления TR1 установлен. Если бит сброшен, то T/C разрешается, как только бит управления TR1 устанавливается |
| C/ $\bar{T}$ | TMOD.6  | Бит выбора режима таймера или счетчика событий T/C1. Если бит сброшен, то работает таймер от внутреннего источника сигналов синхронизации. Если бит установлен, то работает счетчик от внешних сигналов на входе T1                                |
| M1           | TMOD.5  | Режим работы T/C1 (см. примечание)                                                                                                                                                                                                                 |
| M0           | TMOD.4  |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| GATE         | TMOD.3  | Управление блокировкой T/C0. Если бит установлен, то таймер/счетчик 0 разрешен до тех пор, пока на входе INT0 высокий уровень и бит управления TR0 установлен. Если бит сброшен, то T/C разрешается, как только бит управления TR0 устанавливается |
| C/ $\bar{T}$ | TMOD.2  | Бит выбора режима таймера или счетчика событий T/C0. Если бит сброшен, то работает таймер от внутреннего источника сигналов синхронизации. Если бит установлен, то работает счетчик от внешних сигналов на входе T0                                |
| M1           | TMOD.1  | Режим работы T/C0 (см. примечание)                                                                                                                                                                                                                 |
| M0           | TMOD.0  |                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Примечание**

| M1 | M0 | Режим работы                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0  | 0  | Таймер МК48. TLx работает как 5-битный предделитель                                                                                                                                                                                            |
| 0  | 1  | 16-битный таймер/счетчик. THx и TLx включены последовательно                                                                                                                                                                                   |
| 1  | 0  | 8-битный автоперезагружаемый таймер/счетчик. THx хранит значение, которое должно быть перезагружено в TLx каждый раз по переполнению                                                                                                           |
| 1  | 1  | Таймер/счетчик 1 останавливается. Таймер/счетчик 0: TL0 работает как 8-битный таймер/счетчик, и его режим определяется управляющими битами таймера 0. TH0 работает как 8-битный таймер, и его режим определяется управляющими битами таймера 1 |

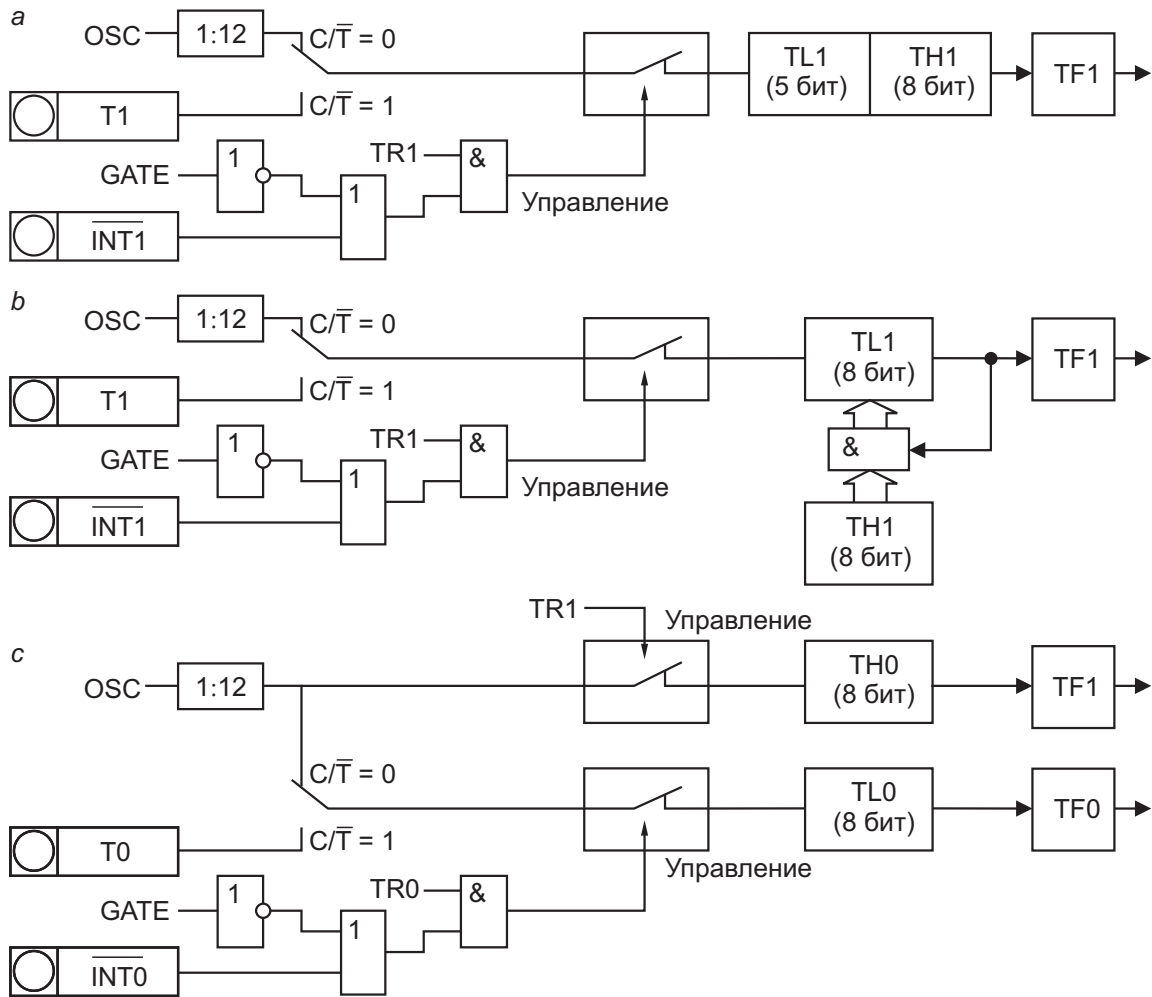


Рис. 6.10. Таймер/счетчик событий: *a* – T/C1 в режиме 0: 13-битный счетчик; *b* – T/C1 в режиме 2: 8-битный автоперезагружаемый счетчик; *c* – T/C0 в режиме 3: два 8-битных счетчика

**Режим 3.** В режиме 3 T/C0 и T/C1 работают по-разному. T/C1 сохраняет неизменным свое текущее содержимое (как при сбросе управляющего бита TR1 в нуль). В режиме 3 TL0 и TH0 функционируют, как два независимых 8-битных счетчика (рис. 6.10, *c*). Работу TL0 определяют управляющие биты T/C0 ( $C/\bar{T}$ , GATE, TR0), входной сигнал  $\overline{INT0}$  и флаг переполнения TF0. Работу TH0, который может выполнять только функции таймера (подсчет машинных циклов МК), определяет управляющий бит TR1. При этом TH0 использует флаг переполнения TF1. Режим 3 используется в тех случаях, когда требуется наличие дополнительного 8-битного таймера или счетчика событий. В режиме 3 MCS51 имеет в своем составе три таймера/счетчика. Если T/C0 используется в режиме 3, то T/C1 может быть включен, выключен, переведен в свой собственный режим 3, использован последовательным портом в качестве генератора частоты передачи или он может быть использован в любом применении, не требующем прерывания.

Таблица 6.5. Регистр управления/статуса таймера TCON

| Символ | Позиция | Имя и назначение                                                                                                                                                         |
|--------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TF1    | TCON.7  | Флаг переполнения таймера 1. Устанавливается аппаратно при переполнении таймера/счетчика. Сбрасывается при обслуживании прерывания аппаратно                             |
| TR1    | TCON.6  | Бит управления таймера 1. Устанавливается/сбрасывается программой для пуска/останова                                                                                     |
| TF0    | TCON.5  | Флаг переполнения таймера 0. Устанавливается аппаратно. Сбрасывается при обслуживании прерывания                                                                         |
| TR0    | TCON.4  | Бит управления таймера 0. Устанавливается/сбрасывается программой для пуска/останова таймера/счетчика                                                                    |
| IE1    | TCON.3  | Флаг фронта прерывания 1. Устанавливается аппаратно, когда детектируется срез внешнего сигнала $\overline{\text{ZPR1}}$ (INT1). Сбрасывается при обслуживании прерывания |
| IT1    | TCON.2  | Бит управления типом прерывания 1. Устанавливается/сбрасывается программно для спецификации запроса $\overline{\text{ZPR1}}$ (срез/низкий уровень)                       |
| IE0    | TCON.1  | Флаг фронта прерывания 0. Устанавливается по срезу сигнала $\overline{\text{ZPR0}}$ . Сбрасывается при обслуживании прерывания                                           |
| IT0    | TCON.0  | Бит управления типом прерывания 0. Устанавливается/сбрасывается программно для спецификации запроса $\overline{\text{ZPR0}}$ (срез/низкий уровень)                       |

### 6.3. Последовательный интерфейс

Через универсальный асинхронный приемопередатчик (УАПП) осуществляется прием и передача информации, представленной последовательным кодом (младшими битами вперед), в полном дуплексном режиме обмена. В состав УАПП, называемого часто последовательным портом, входят принимающий и передающий сдвигающие регистры, а также специальный буферный регистр (SBUF) приемопередатчика. Запись байта в буфер приводит к автоматической перезаписи байта в сдвигающий регистр передатчика и инициирует начало передачи байта. Наличие буферного регистра приемника позволяет совмещать операцию чтения ранее принятого байта с приемом очередного

байта. Если к моменту окончания приема байта предыдущий байт не был считан из SBUF, то он будет потерян.

Последовательный порт MCS51 может работать в четырех различных режимах.

**Режим 0.** В этом режиме информация и передается и принимается через внешний вывод входа приемника (RxD). Принимаются или передаются 8 бит данных. Через внешний вывод выхода передатчика (TxD) выдаются импульсы сдвига, которые сопровождают каждый бит. Частота передачи бита информации равна  $1/12$  частоты резонатора.

**Режим 1.** В этом режиме передаются через TxD или принимаются из RxD 10 бит информации: старт-бит (0), 8 бит данных и стоп-бит (1). Скорость приема/передачи – величина переменная и задается таймером.

**Режим 2.** В этом режиме через TxD передаются или из RxD принимаются 11 бит информации: старт-бит, 8 бит данных, программируемый девятый бит и стоп-бит. При передаче девятый бит данных может принимать значение 0 или 1 либо, например, для повышения достоверности передачи путем контроля по четности в него может быть помещено значение признака паритета из слова состояния программы (PSW.0). Частота приема/передачи выбирается программой и может быть равна либо  $1/32$ , либо  $1/64$  частоты резонатора в зависимости от управляющего бита SMOD.

**Режим 3.** Режим 3 совпадает с режимом 2 во всех деталях, за исключением частоты приема/передачи, которая является величиной переменной и задается таймером.

### 6.3.1. Регистр управления/статуса УАПП

Управление режимом работы УАПП осуществляется через специальный регистр с символическим именем SCON. Этот регистр содержит не только управляющие биты, определяющие режим работы последовательного порта, но и девятый бит принимаемых или передаваемых данных (RB8 и TB8) и биты прерывания приемопередатчика (RI и TI). Функциональное назначение битов регистра управления/статуса УАПП приводится в табл. 6.6.

Прикладная программа путем загрузки в старшие биты специального регистра SCON 2-битного кода определяет режим работы



Таблица 6.6. Регистр управления/статуса УАПП SCON

| Символ | Позиция | Имя и назначение                                                                                                                             |
|--------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SM0    | SCON.7  | Биты управления режимом работы УАПП. Устанавливаются/сбрасываются программно (см. примечание)                                                |
| SM1    | SCON.6  | Бит управления режимом УАПП. Устанавливается программно для запрета приема сообщения, в котором девятый бит имеет значение 0                 |
| SM2    | SCON.5  |                                                                                                                                              |
| REN    | SCON.4  | Бит разрешения приема. Устанавливается/сбрасывается программно для разрешения/запрета приема последовательных данных                         |
| TB8    | SCON.3  | Передача бита 8. Устанавливается/сбрасывается программно для задания девятого передаваемого бита в режиме УАПП-9 бит                         |
| RB8    | SCON.2  | Прием бита 8. Устанавливается/сбрасывается аппаратурно для фиксации девятого принимаемого бита в режиме УАПП-9 бит                           |
| TI     | SCON.1  | Флаг прерывания передатчика. Устанавливается аппаратурно при окончании передачи байта. Сбрасывается программно после обслуживания прерывания |
| RI     | SCON.0  | Флаг прерывания приемника. Устанавливается аппаратурно при приеме байта. Сбрасывается программно после обслуживания прерывания               |

**Примечание**

| SM0 | SM1 | Режим работы УАПП                           |
|-----|-----|---------------------------------------------|
| 0   | 0   | Сдвигающий регистр расширения ввода-вывода  |
| 0   | 1   | УАПП-8 бит. Изменяемая скорость передачи    |
| 1   | 0   | УАПП-9 бит. Фиксированная скорость передачи |
| 1   | 1   | УАПП-9 бит. Изменяемая скорость передачи    |

УАПП. Во всех четырех режимах работы передача из УАПП инициируется любой командой, в которой буферный регистр SBUF указан как получатель байта. Прием в УАПП в режиме 0 осуществляется при условии, что RI = 0 и REN = 1. В режимах 1, 2, 3 прием начинается с приходом старт-бита, если REN = 1.

В бите TB8 программно устанавливается значение девятого бита данных, который будет передан в режиме 2 или 3. В бите RB8 фиксируется в режимах 2 и 3 девятый принимаемый бит данных. В режиме

1, если  $SM2 = 0$ , в бит  $RB8$  заносится стоп-бит. В режиме 0 бит  $RB8$  не используется.

Флаг прерывания передатчика  $TI$  устанавливается аппаратурно в конце периода передачи восьмого бита данных в режиме 0 и в начале периода передачи стоп-бита в режимах 1, 2 и 3. Соответствующая подпрограмма обслуживания прерывания должна сбрасывать бит  $TI$ . Флаг прерывания приемника  $RI$  устанавливается аппаратурно в конце периода приема восьмого бита данных в режиме 0 и в середине периода приема стоп-бита в режимах 1, 2 и 3. Подпрограмма обслуживания прерывания должна сбрасывать бит  $RI$ .

#### 6.3.2. Работа УАПП в мультимикроконтроллерных системах

В системах децентрализованного управления, которые используются для управления и регулирования в топологически распределенных объектах (например, прокатных станах, электроподвижном составе железных дорог и метрополитена, сборочных конвейерах и линиях гибких автоматизированных производств), возникает задача обмена информацией между множеством микроконтроллеров, объединенных в локальную вычислительно-управляющую сеть. Как правило, локальные сети на основе  $MCS51$  имеют магистральную архитектуру с разделяемым моноканалом (коаксиальный кабель, витая пара, оптическое волокно), по которому осуществляется обмен информацией между микроконтроллерами.

В регистре специальных функций  $SCON$  микроконтроллера имеется управляющий бит  $SM2$ , который в режимах 2 и 3 УАПП позволяет относительно простыми средствами реализовать межконтроллерный обмен информацией в локальных управляющих сетях.

Механизм межконтроллерного обмена информацией через последовательный порт  $MCS51$  построен на том, что в режимах 2 и 3 программируемый девятый бит данных при приеме фиксируется в бите  $RB8$ . УАПП может быть запрограммирован таким образом, что при получении стоп-бита прерывание от приемника будет возможно только при условии  $RB8 = 1$ . Это выполняется установкой управляющего бита  $SM2$  в регистре  $SCON$ .

Поясним процесс межконтроллерного обмена информацией на примере. Пусть ведущему МК требуется передать блок данных некоторому (или нескольким) ведомому МК. С этой целью ведущий МК в протокольном режиме *широковещательной* передачи (всем ведомым МК) выдает в моноканал байт-идентификатор абонента (код адреса МК-получателя), который отличается от байтов данных только тем, что в его девятом бите содержится 1. Программа реализации протокола сетевого обмена информацией должна быть построена таким образом, чтобы при получении байта-идентификатора ( $RB8 = 1$ ) во всех

ведомых МК произошли прерывания прикладных программ и вызов подпрограмм сравнения байта-идентификатора с кодом собственного сетевого адреса. Адресуемый МК сбрасывает свой управляющий бит SM2 и готовится к приему блока данных. Остальные ведомые МК, адрес которых не совпал с кодом байта-идентификатора, оставляют неизменным состояние SM2 = 1 и передают управление основной программе. При SM2 = 1 информационные байты, передаваемые по моноканалу и поступающие в УАПП ведомых МК, прерывания не вызывают, т.е. игнорируются.

В режиме 1 УАПП автономного МК использует управляющий бит SM2 для контроля истинности стоп-бита (при SM2 = 1 прерывание не произойдет до тех пор, пока не будет получено истинное (единичное) значение стоп-бита). В режиме 0 бит SM2 не используется и должен быть сброшен.

### 6.3.3. Скорость приема/передачи

Скорость приема/передачи, т.е. частота работы УАПП в различных режимах, определяется различными способами.

В режиме 0 частота передачи зависит только от резонансной частоты  $f_q$  кварцевого резонатора  $f_0 = f_q/12$ . За один машинный цикл последовательный порт передает один бит информации.

В режимах 1, 2 и 3 скорость приема/передачи зависит от значения управляющего бита SMOD в регистре специальных функций PCON (табл. 6.7).

В режиме 2 частота передачи  $f_2 = 2^{\text{SMOD}} f_q/64$ . Легко видеть, что при SMOD = 0 частота передачи равна ( $f_q/64$ ), а при SMOD = 1: ( $f_q/32$ ).

В режимах 1 и 3 в формировании частоты передачи кроме управляющего бита SMOD принимает участие таймер 1. При этом частота передачи зависит от частоты переполнения (OVT1) и определяется следующим образом:  $f_{1,3} = 2^{\text{SMOD}} f_{\text{OVT1}}/32$ . Прерывание от таймера 1 в этом случае должно быть заблокировано. Сам T/C1 может работать и как таймер, и как счетчик событий в любом из трех режимов. Однако наиболее удобно использовать режим таймера с автоперезагрузкой (старшая тетрада TMOD = 0010B). При этом частота передачи определяется выражением  $f_{1,3} = (2^{\text{SMOD}}/32)(f_q/12)(256 - (\text{TH1}))$ . В табл. 6.8 приводится описание способов настройки T/C1 для получения типовых частот передачи данных через УАПП.

### 6.3.4. Особенности работы УАПП в различных режимах

**Режим 0.** На рис. 6.11 показаны упрощенная структурная схема УАПП и временная диаграмма его работы в режиме 0. Данные пере-

Таблица 6.7. Регистр управления мощностью PCON

| Символ | Позиция | Наименование и функция                                                                                    |
|--------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SMOD   | PCON.7  | Удвоенная скорость передачи. Если бит установлен в 1, то скорость передачи вдвое больше, чем при SMOD = 0 |
| –      | PCON.6  | Не используются                                                                                           |
| –      | PCON.5  | Не используются                                                                                           |
| –      | PCON.4  | Не используются                                                                                           |
| GF1    | PCON.3  | Флаг, специфицируемый пользователем (флаг общего назначения)                                              |
| GF0    | PCON.2  | Флаг, специфицируемый пользователем (флаг общего назначения)                                              |
| PD     | PCON.1  | Бит пониженной мощности. При установке бита в 1 МК переходит в режим пониженной потребляемой мощности     |
| IDL    | PCON.0  | Бит холостого хода. Если бит установлен в 1, то МК переходит в режим холостого хода                       |

**Примечание.** При одновременной записи 1 в PD и IDL бит PD имеет преимущество. Сброс содержимого PCON выполняется путем загрузки в него кода 0XXX0000.

даются и принимаются через вывод RxD. Через вывод TxD выдаются синхросигналы сдвига.

Передача начинается любой командой, по которой в SBUF поступает байт данных. В момент времени S6P2 устройство управления MCS51 по сигналу *Запись в буфер* записывает байт в сдвигающий регистр передатчика, устанавливает триггер девятого бита и запускает блок управления передачей, который через один машинный цикл вырабатывает разрешающий сигнал *Посылка*. При этом в момент S6P2 каждого машинного цикла содержимое сдвигающего регистра сдвигается вправо (младшими битами вперед) и поступает на вывод RxD. В освобождающиеся старшие биты сдвигающего регистра передатчика записываются нули. При получении от детектора нуля сигнала *Передатчик пуст* блок управления передатчиком снимает сигнал *Посылка* и устанавливает флаг TI (момент S1P1 десятого машинного цикла после поступления сигнала *Запись в буфер*).

Прием начинается при условии REN = 1 и RI = 0. В момент S6P2 следующего машинного цикла блок управления приемником формирует разрешающий сигнал *Прием*, по которому на выход TxD передаются синхросигналы сдвига и в сдвигающем регистре приемника начи-

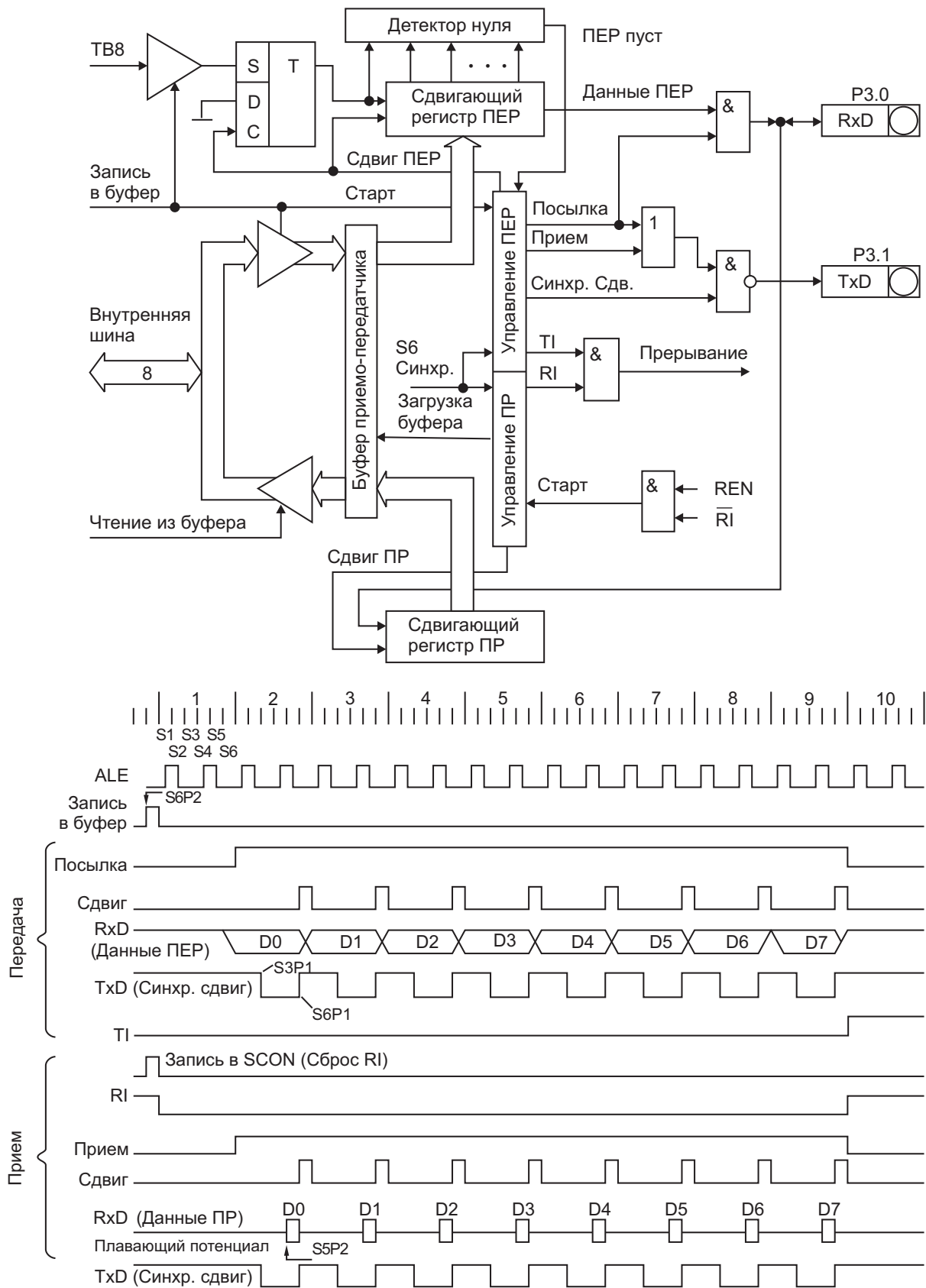


Рис. 6.11. УАПП в режиме 0: вверху – структурная схема; внизу – временные диаграммы работы

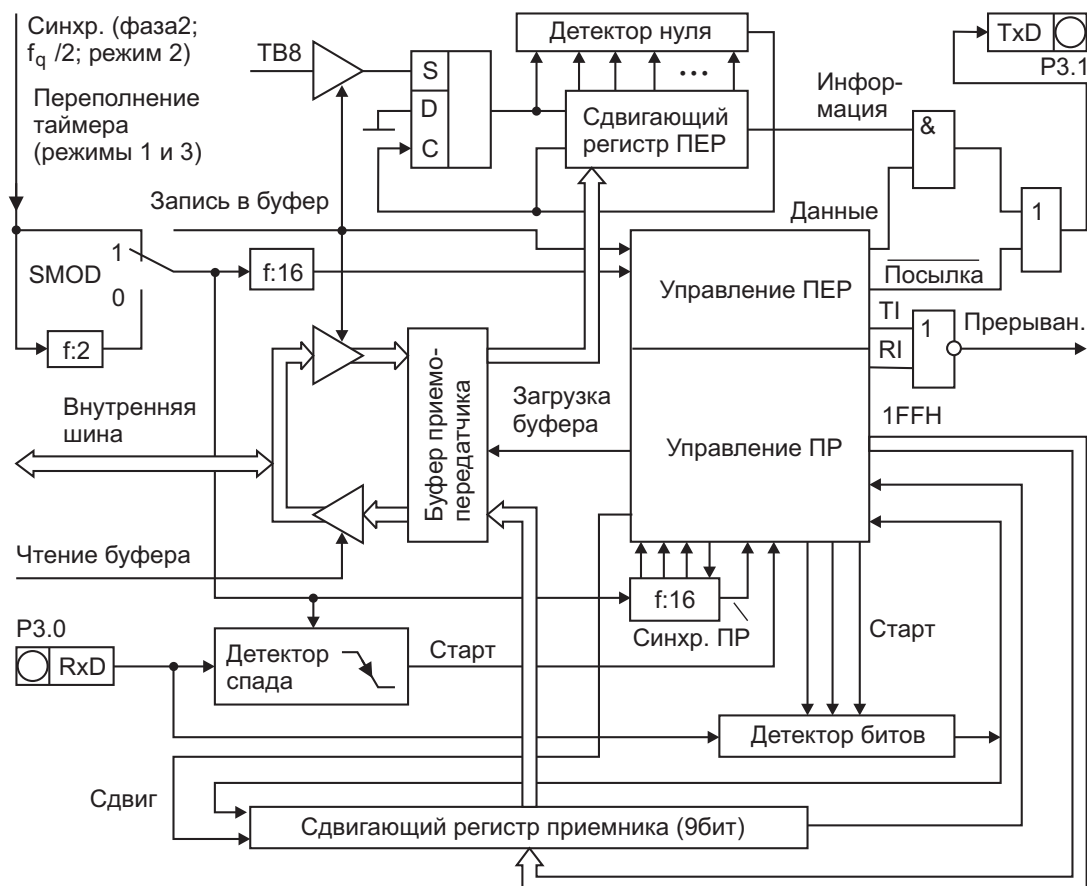


Рис. 6.12. Структурная схема УАПП в режимах 1, 2 и 3

Таблица 6.8. Настройка таймера 1 для управления частотой работы УАПП

| Частота приема/передачи (Baud Rate) в режимах | Частота резонатора, МГц | SMOD   | Таймер/счетчик 1 |              |                       |        |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------|------------------|--------------|-----------------------|--------|
|                                               |                         |        | C/T              | Режим (MODE) | Перезагружаемое число |        |
| 0 (макс): 1 МГц                               | 12                      | ×      | ×                | ×            | ×                     |        |
| 2 (макс): 375 кГц                             | 12                      | 1      | ×                | ×            | ×                     |        |
| 1, 3:                                         | 62,5 кГц                | 12     | 1                | 0            | 2                     | 0FFH   |
|                                               | 19.2 кГц                | 11.059 | 1                | 0            | 2                     | 0FDH   |
|                                               | 9.6 кГц                 | 11.059 | 0                | 0            | 2                     | 0FDH   |
|                                               | 4.8 кГц                 | 11.059 | 0                | 0            | 2                     | 0FAH   |
|                                               | 2.4 кГц                 | 11.059 | 0                | 0            | 2                     | 0F4H   |
|                                               | 1.2 кГц                 | 11.059 | 0                | 0            | 2                     | 0E8H   |
|                                               | 137.5 Гц                | 11.059 | 0                | 0            | 2                     | 1DH    |
|                                               | 110 Гц                  | 6      | 0                | 0            | 2                     | 72H    |
|                                               | 110 Гц                  | 12     | 0                | 0            | 1                     | 0FEEBH |

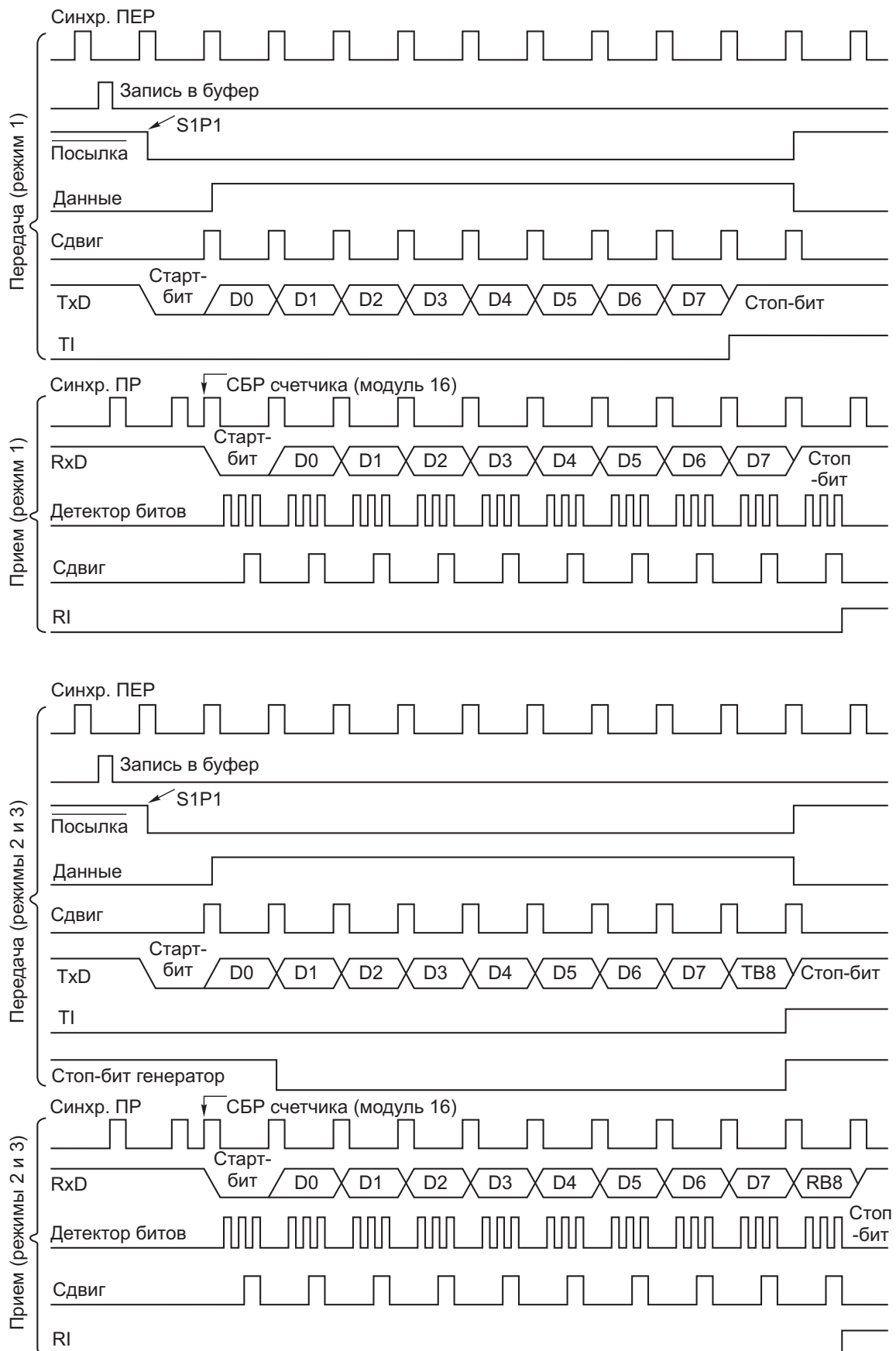


Рис. 6.13. Временные диаграммы работы УАПП для режимов 1, 2 и 3

нают формироваться значения битов данных, которые считываются с входа RxD в моменты S5P2 каждого машинного цикла. В момент S1P1 десятого машинного цикла после сигнала *Запись* в SCON блок управления приемником переписывает содержимое сдвигающего регистра в буфер, снимает разрешающий сигнал *Прием* и устанавливает флаг RI.

**Режим 1.** На рис. 6.12, 6.13 приведены структурная схема и временные диаграммы работы УАПП при приеме и передаче данных. Через вывод TxD УАПП передает, а с вывода RxD принимает 10 бит: старт-бит (0), 8 бит данных и стоп-бит (1). При приеме стоп-бит поступает в бит RB8 регистра SCON.

Передача инициируется любой командой, в которой получателем байта является регистр SBUF. Генерируемый при этом управляющий сигнал *Запись в буфер* загружает 1 в девятый бит сдвигающего регистра передатчика, запускает блок управления передачей и в момент времени S1P1 формирует разрешающий сигнал *Посылка*. По этому сигналу на вывод TxD сначала поступает старт-бит, а затем (по разрешающему сигналу *Данные*) биты данных. Каждый период передачи бита равен 16 тактам внутреннего счетчика.

Прием начинается при обнаружении на входе RxD перехода сигнала из состояния 1 в состояние 0. Для этого под управлением внутреннего счетчика вход RxD опрашивается 16 раз за период представления бита. Как только переход из 1 в 0 на входе RxD обнаружен, в сдвигающий регистр приемника загружается код 1FFH, внутренний счетчик по модулю 16 немедленно сбрасывается и перезапускается для выравнивания его переходов с границами периодов представления принимаемых битов. Таким образом, каждый период представления бита делится на 16 периодов внутреннего счетчика. В состояниях 7, 8 и 9 счетчика в каждом периоде представления бита производится опрос сигнала на входе RxD. Считанное значение принимаемого бита – это то, которое было получено, по меньшей мере, дважды из трех замеров (мажоритарное голосование по принципу *два из трех*). Если значение, принятое в первом такте, не равно 0, то блок управления приемом вновь возвращается к поиску перехода из 1 в 0. Этот механизм обеспечивает подавление ложных (сбойных) старт-битов. Истинный старт-бит сдвигается в регистре приемника, и продолжается прием остальных бит посылки. Блок управления приемом сформирует сигнал *Загрузка буфера*, установит RB8 и флаг RI только в том случае, если в последнем такте сдвига выполняются два условия: бит RI = 0, и либо SM2 = 0, либо принятый стоп-бит равен 1. Если одно из этих двух условий не выполняется, то принятая последовательность бит теряется. В это время вне зависимости от того, выполняются указанные



условия или нет, блок управления приемом вновь начинает отыскивать переход из 1 в 0 на входе RxD.

**Режимы 2, 3.** Через вывод TxD УАПП передает или с вывода RxD принимает 11 бит: старт-бит (0), 8 бит данных, программируемый девятый бит и стоп-бит (1). На временной диаграмме (рис. 6.13) показана работа УАПП при передаче и приеме данных в режимах 2 и 3. Как видно, режимы 2 и 3 отличаются от режима 1 только наличием девятого программируемого бита. Вследствие этого несколько изменяются условия окончания цикла приема: блок управления приемником сформирует управляющий сигнал *Загрузка буфера*, загрузит RB8 и установит флаг RI только в том случае, если в последнем такте сдвига выполняются два условия: бит RI = 0 и либо SM2 = 0, либо значение принятого девятого бита данных равно 1.

### 6.4. Система прерываний

Упрощенная схема прерываний MCS51 показана на рис. 6.14. Внешние прерывания  $\overline{INT0}$  и  $\overline{INT1}$  могут быть вызваны либо уровнем, либо переходом сигнала из 1 в 0 на входах MCS51 в зависимости от значений управляющих бит IT0 и IT1 в регистре TCON. От внешних прерываний устанавливаются флаги IE0 и IE1 в регистре TCON, которые инициируют вызов соответствующей подпрограммы обслуживания прерывания. Сброс этих флагов выполняется аппаратурно только в том случае, если прерывание было вызвано по переходу (срещу) сигнала. Если же прерывание вызвано уровнем входного сигнала, то сбросом флага IE управляет соответствующая подпрограмма обслуживания прерывания путем воздействия на источник прерывания в целях снятия им запроса.

Флаги запросов прерывания от таймеров TF0 и TF1 сбрасываются автоматически при передаче управления подпрограмме обслуживания. Флаги запросов прерывания RI и TI устанавливаются блоком управления УАПП аппаратурно, но сбрасываться должны программой.

Прерывания могут быть вызваны или отменены программой, так как все перечисленные флаги программно доступны и могут быть установлены/сброшены программой с тем же результатом, как если бы они были установлены/сброшены аппаратурными средствами.

В блоке регистров специальных функций есть два регистра, предназначенных для управления режимом прерываний и уровнями приоритета. Форматы этих регистров, имеющих символические имена IE и IP, описаны в табл. 6.9 и 6.10 соответственно. Возможность программной установки/сброса любого управляющего бита в этих двух

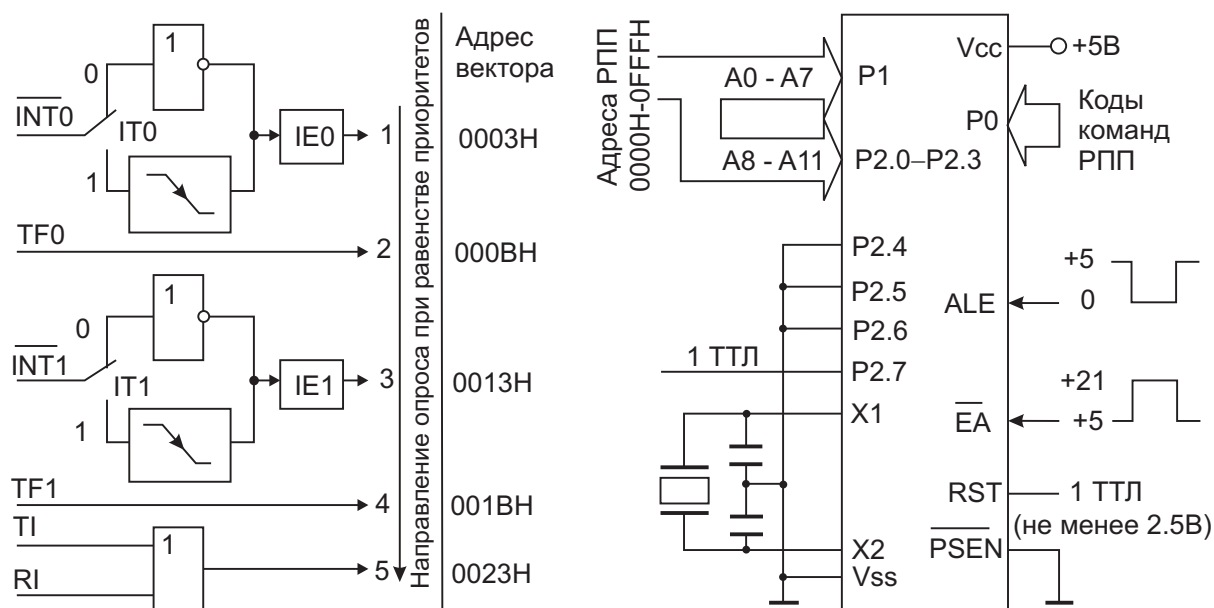


Рис. 6.14. Микроконтроллер MCS51: схема прерываний (слева) и схема программирования (справа)

регистрах делает систему прерываний MCS51 исключительно гибкой.

Флаги прерываний опрашиваются в момент S5P2 каждого машинного цикла. Ранжирование прерываний по уровню приоритета выполняется в течение следующего машинного цикла. Система прерываний сформирует аппаратно вызов (LCALL) соответствующей подпрограммы обслуживания, если она не заблокирована одним из следующих условий:

- 1) в данный момент обслуживается запрос прерывания равного или более высокого уровня приоритета;
- 2) текущий машинный цикл – не последний в цикле выполняемой команды;
- 3) выполняется команда RETI или любая команда, связанная с обращением к регистрам IE или IP.

Отметим, что если флаг прерывания был установлен, но по одному из перечисленных выше условий не получил обслуживания и к моменту окончания блокировки уже был сброшен, то запрос прерывания теряется и нигде не запоминается. По аппаратно-сформированному коду LCALL система прерывания помещает в стек только содержимое счетчика команд (PC) и загружает в счетчик команд адрес вектора соответствующей подпрограммы обслуживания. По адресу вектора должна быть расположена команда безусловной передачи управления (JMP) к начальному адресу подпрограммы обслуживания прерывания. Подпрограмма обслуживания в случае необходимости должна начинаться командами записи в стек (PUSH) слова состояния программы (PSW), аккумулятора, расширителя, указателя данных и т.д.

Таблица 6.9. Регистр масок прерывания IE

| Символ | Позиция | Имя и назначение                                                                                                    |
|--------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EA     | IE.7    | Снятие блокировки прерываний. Сбрасывается программно для запрета всех прерываний независимо от состояний IE4 – IE0 |
| –      | IE.6    | Не используются                                                                                                     |
| –      | IE.5    | Не используются                                                                                                     |
| ES     | IE.4    | Бит разрешения прерывания от УАПП. Установка/сброс программой для разрешения/запрета прерываний от флагов T1 или RI |
| ET1    | IE.3    | Бит разрешения прерывания от таймера 1. Установка/сброс программой для разрешения/запрета прерываний от таймера 1   |
| EX1    | IE.2    | Бит разрешения внешнего прерывания 1. Установка/сброс программой для разрешения/запрета прерываний                  |
| ET0    | IE.1    | Бит разрешения прерывания от таймера 0. Работает аналогично IE.3                                                    |
| EX0    | IE.0    | Бит разрешения внешнего прерывания 0, Работает аналогично IE.2                                                      |

и заканчиваться командами восстановления из стека (POP). Подпрограммы обслуживания прерывания обязательно завершаются командой RETI, по которой в счетчик команд перезагружается из стека сохраненный адрес возврата в основную программу. Команда RET также возвращает управление прерванной основной программе, но при этом не снимает блокировку прерываний, что приводит к необходимости иметь программный механизм анализа окончания процедуры обслуживания данного прерывания.

## 6.5. Особые режимы работы MCS51

### 6.5.1. Режим загрузки и верификации прикладных программ

Под воздействием внешних электрических сигналов MCS51 может быть электрически запрограммирован или, иными словами, в РПП микроконтроллера могут быть загружены объектные коды прикладной программы. Содержимое РПП микроконтроллера может быть уничтожено выдержкой под ультрафиолетовым источником света (стирание) для последующего перепрограммирования. Микроконтроллер имеет средство защиты от программного *разбоя*, обеспечивающее не-

Таблица 6.10. Регистр приоритетов прерываний IP

| Символ | Позиция   | Имя и назначение                                                                                                                                   |
|--------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| –      | IP.7–IP.5 | Не используются                                                                                                                                    |
| PS     | IP.4      | Бит приоритета УАПП. Установка/сброс программой для присваивания прерыванию от УАПП высшего/низшего приоритета                                     |
| PT1    | IP.3      | Бит приоритета таймера 1. Установка/сброс программой для присваивания прерыванию от таймера 1 высшего/низшего приоритета                           |
| PX1    | IP.2      | Бит приоритета внешнего прерывания 1. Установка/сброс программой для присваивания высшего/низшего приоритета внешнему прерыванию $\overline{INT1}$ |
| PT0    | IP.1      | Бит приоритета таймера 0. Работает аналогично IP.3                                                                                                 |
| PX0    | IP.0      | Бит приоритета внешнего прерывания 0. Работает аналогично IP.2                                                                                     |

возможность прочтения содержимого РПП в конечном изделии и, следовательно, сохранение профессиональных секретов разработчика прикладного программного обеспечения.

**Загрузка программ в РПП.** В режиме программирования MCS51 должен работать на пониженной частоте (с резонатором 4...6 МГц) из-за необходимости мультиплексирования на внутренней шине адресной и кодовой информации. На рис. 6.14 приведена схема подключения MCS51 к программатору. Адрес ячейки РПП, в которую должен быть загружен байт прикладной программы, подается на выходы порта 1 и выходы P2.0...P2.3 порта 2. При этом загружаемый байт поступает в МК через порт 0. Выводы P2.4...P2.6 и  $\overline{PSEN}$  должны быть заземлены, а на выходы P2.7 и RST необходимо подать уровень логической 1 (для входа RST уровень логической 1 – не менее 2.5 В, для остальных входов – стандартный уровень ТТЛ). На входе  $\overline{EA}/V_{pp}$  поддерживается уровень +5 В, но в момент загрузки байта он должен быть подключен к источнику напряжения с уровнем +21 В. В это время уровень на входе ALE/PROG должен быть не менее чем на 50 мс сброшен в 0. После этого напряжение на входе  $\overline{EA}/V_{pp}$  возвращается к уровню +5 В. Источник напряжения +21 В ( $V_{pp}$ ) должен быть очень хорошо стабилизирован, так как превышение предельного значения +21.5 В на входе  $\overline{EA}/V_{pp}$  приводит к необратимым повреждениям РПП.

**Запись бита защиты.** Бит защиты РПП, будучи установлен, запрещает доступ к РПП любыми внешними средствами. Схема записи бита защиты показана на рис. 6.15. Процедура записи бита защиты такая же, как и при загрузке программ в РПП, но на вывод P2.6 должен подаваться уровень 1. Сигналы на выводах портов P0, P1 и P2.0...P2.3 могут быть в любом состоянии. Однажды установленный бит защиты можно сбросить только путем полного стирания РПП под источником УФ-излучения.

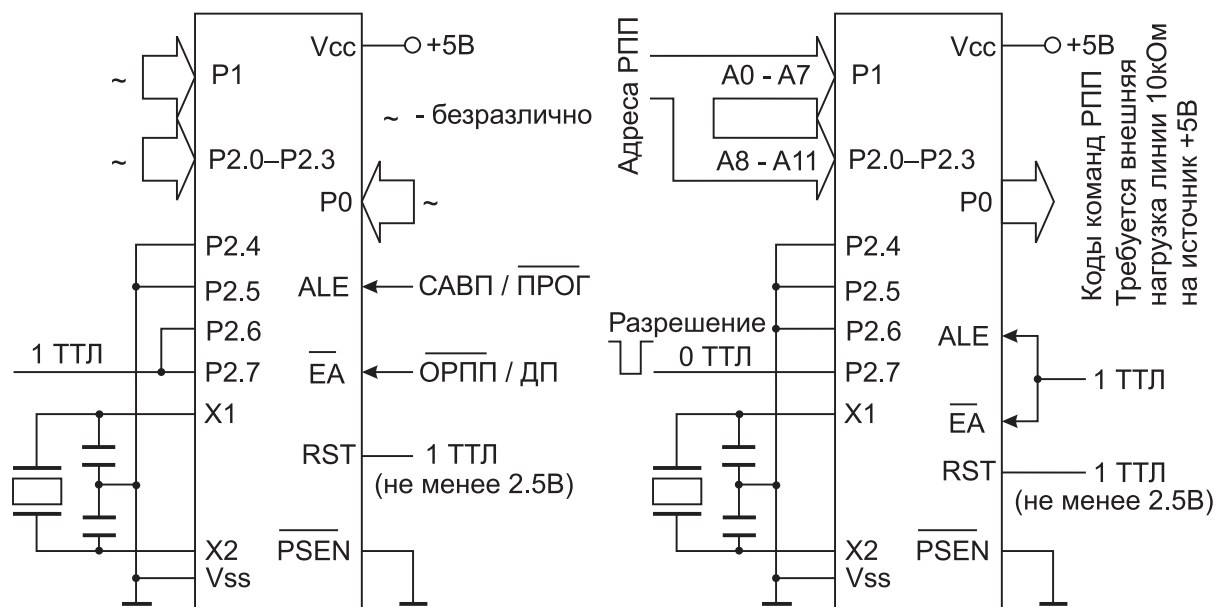


Рис. 6.15. Микроконтроллер MCS51: схема записи бита защиты (слева) и схема верификации программ (справа)

**Верификация программ.** Если бит защиты не запрограммирован, то содержимое РПП может быть прочитано в целях проверки правильности загрузки прикладной программы либо по ходу программирования, либо после окончания программирования MCS51. Доступ к ячейкам РПП (рис. 6.15) осуществляется так же, как и при программировании РПП, за исключением того, что на вывод P2.7 подается сигнал 0, используемый в качестве строб-сигнала чтения. Считанные коды команд и соответствующие им адреса РПП могут отображаться для визуального контроля на любом внешнем индикаторе и, кроме того, могут быть переданы в ОЗУ инструментальной ЭВМ для дизассемблирования.

**Стирание РПП.** Для стирания содержимого РПП микроконтроллер следует поместить под источник УФ-излучения с длиной волны менее 400 нм. Если кварцевая лампа имеет световую мощность

12 мВт/см<sup>2</sup>, а расстояние между источником света и МК равно 2...3 см, то выдержка 20...30 мин обеспечивает световую дозу, достаточную для надежного стирания РПП. После стирания в матрице РПП содержатся все единицы.

Поскольку в спектре солнечного света и люминесцентного освещения содержится излучение с длиной волны менее 400 нм, то пребывание МК под воздействием этих источников света дольше установленного предела (около одной недели на солнечном свете или около трех лет при люминесцентном освещении) может привести к искажению содержимого РПП. Для защиты содержимого РПП от разрушения под воздействием света на окне корпуса МК укрепляют светонепроницаемый экран.

### 6.5.2. Работа MCS51 в пошаговом режиме

На этапе отладки прикладной программы в прототипе МК-системы очень удобным для разработчика оказывается режим пошагового (покомандного) исполнения программы. Система прерываний MCS51 позволяет реализовать этот режим работы путем использования нескольких дополнительных команд. Как было описано ранее (см. п. 6.4), внешний запрос прерывания не будет обслужен до тех пор, пока обслуживается прерывание с равным приоритетом. Этот запрос будет воспринят лишь после того, как одна команда после команды RETI будет выполнена. Иными словами, однажды вызвав подпрограмму обслуживания прерывания, вызвать ее вновь невозможно до тех пор, пока хотя бы одна команда основной программы не будет исполнена. Использовать это свойство системы прерываний MCS51 для реализации пошагового режима можно следующим образом: одно из внешних прерываний, например INT0 (вывод P3.2 микроконтроллера), запрограммировать для представления запроса уровнем сигнала ( $T0 = 0$ ), а подпрограмма обслуживания этого прерывания должна заканчиваться последовательностью команд

```
JNB P3.2, $; Ожидание уровня 1 на входе INT0
JB P3.2, $; Ожидание уровня 0 на входе INT0
RETI ; Возврат и выполнение 1 команды
```

Здесь символом \$ обозначено текущее содержимое счетчика команд. Теперь если на вывод INT0 подавать сигнал от клавиши ШАГ отладочного модуля системы, то MCS51 по сигналу INT0 = 0 вызовет подпрограмму обслуживания внешнего прерывания 0 и будет в ней находиться до тех пор, пока не обнаружит на входе INT0 новый импульс (переход из 0 в 1 и снова в 0). По команде RETI произойдет

возврат в основную программу, выполнение в ней одной команды и немедленный вызов подпрограммы обслуживания внешнего прерывания 0.

### 6.5.3. Сброс, режим холостого хода и режим пониженного энергопотребления

**Сброс** в MCS51 осуществляется путем подачи на вход RST сигнала 1. Для уверенного сброса MCS51 этот сигнал 1 должен быть удержан на входе RST, по меньшей мере, в течение двух машинных циклов (24 периода резонатора). Квазидвунаправленные буферные схемы внешних выводов ALE и  $\overline{\text{PSEN}}$  находятся при этом в режиме ввода. Под воздействием сигнала RST сбрасывается содержимое регистров: PC, ACC, B, PSW, DPTR, TMOD, TCON, T/C0, T/C1, IE, IP и SCON, в регистре PCON сбрасывается только старший бит, в регистр-указатель стека загружается код 07H, а в порты P0...P3 – коды 0FFH. Состояние регистра SBUF неопределенное. Сигнал RST не воздействует на содержимое ячеек РПД. Когда включается электропитание (Vcc), содержимое РПД не определено, за исключением операции возврата из режима пониженного энергопотребления.

На рис. 6.16 показана схема автоматического формирования сигнала RST при включении электропитания. Время, необходимое для полного заряда емкости, обеспечивает уверенный запуск резонатора и его работу в течение более чем двух машинных циклов.

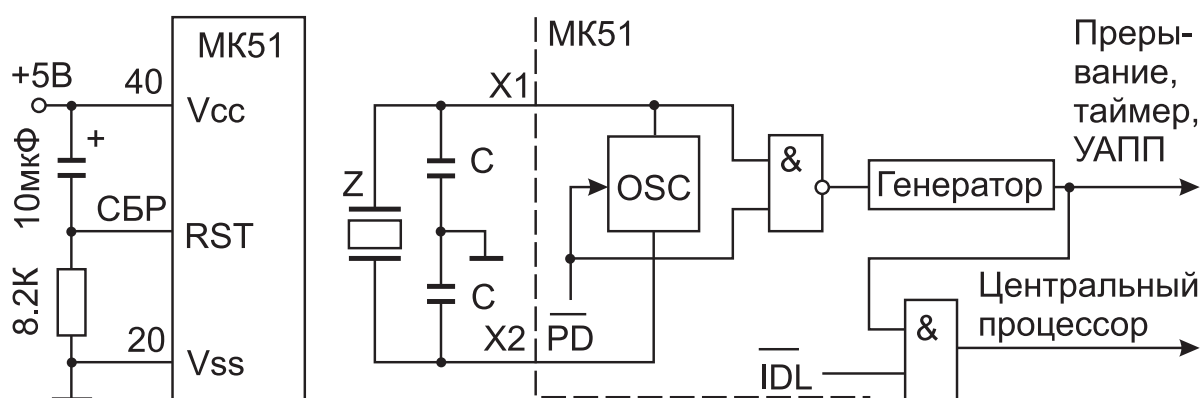


Рис. 6.16. Микроконтроллер MCS51: схема сброса при включении электропитания (слева) и схема управления от сигнала IDL и PD (справа)

**Режим холостого хода.** Любая команда, устанавливающая управляющий бит IDL (PCON.0) в регистре управления мощностью, переведет MCS51 в режим холостого хода. При этом внутренний генератор синхросигналов (см. рис. 6.16) продолжает работать. Все регистры

сохраняют свое значение. На выводах всех портов удерживается то логическое состояние, которое на них было в момент перехода в режим холостого хода. На выводах ALE и  $\overline{\text{PSEN}}$  формируется уровень логической единицы.

Выйти из режима холостого хода можно или по сигналу СБР, или по прерыванию. Любой из разрешенных сигналов прерывания приведет к аппаратному сбросу бита PCON.0 и прекратит тем самым режим холостого хода. После исполнения команды RETI (выход из подпрограммы обслуживания прерывания) будет исполнена команда, которая следует в программе за командой, переведшей MCS51 в режим холостого хода. В некоторых модификациях МК51 этот режим может отсутствовать.

**Режим пониженного энергопотребления.** В тех применениях МК-систем, где потребление электроэнергии, а следовательно, габаритные размеры и масса источника электропитания являются одними из основных показателей качества изделия, возможно использование MCS51 в режиме пониженного энергопотребления. Перевод MCS51 в этот режим возможен по команде, которая установит бит PCON.1 в регистре управления мощностью (см. табл. 6.7). В этом режиме останавливается генератор синхросигналов, содержимое РПД и регистров специальных функций сохраняется, а на выходных контактах портов удерживаются значения, соответствующие содержимому их буферных регистров. Выходы сигналов ALE и  $\overline{\text{PSEN}}$  сбрасываются. При этом электропитание осуществляется через вывод RST/VPD.

В режиме пониженного энергопотребления напряжение электропитания Vcc может быть отключено. Перед выходом из режима оно должно быть восстановлено до номинального значения. Выход из режима пониженного энергопотребления возможен только по сигналу RST. При этом переопределяются все регистры специальных функций, но содержимое РПД не изменяется. В некоторых модификациях MCS51 этот режим может отсутствовать.

**Защита от падения напряжения.** При немгновенных отказах блока электропитания МК-системы можно обеспечить сохранность содержимого РПД с помощью маломощного (батарейного) аварийного источника электропитания, подсоединяемого к выводу RST/VPD. Для этого МК при получении сообщения о грозящем падении напряжения Vcc (прерывание от системы контроля электропитания) должен перегрузить в РПД основные параметры прерванного процесса и выдать сигнал, разрешающий подключение к выводу RST/VPD аварийного источника питания. Все эти процедуры МК должен успеть выполнить до того, как напряжение основного источника электропитания



упадет ниже рабочего предела. После восстановления номинального значения напряжения в основной цепи электропитания выполняется системный сброс, и источник аварийного электропитания может быть отключен.

### 6.5.4. Локальная управляющая сеть на основе MCS51

При управлении сложными протяженными объектами используются системы с распределенным управлением, состоящие из множества контроллеров, управляющих отдельными агрегатами объекта (например, силовой установкой корабля или локомотива, прокатным станом и т.п.). Между отдельными подсистемами должна обеспечиваться информационная связь. Поэтому обязательным элементом распределенной системы управления является локальная сеть, объединяющая отдельные контроллеры в систему.

На такую сеть возлагаются в основном простые функции передачи сообщений за гарантированное время. Протяженность линий связи обычно не превышает десятков метров, размер сообщения – нескольких десятков байтов, а время доставки сообщения – в пределах от 0.01 до 1.0 с. Типичными являются два режима информационного обмена в сети: широковещательный, когда передаваемое сообщение предназначается для всех остальных подсистем (микроконтроллеров сети), и абонентский, когда сообщение предназначается только для одного МК. Обычно первым способом передаются различные информационные параметры, используемые многими подсистемами. Это позволяет уменьшить загрузку сети за счет исключения множественных передач одного и того же сообщения различным адресатам. Вторым способом обычно передаются команды управления от центрального устройства к исполнительным или сообщения экстренного характера.

Наиболее широко распространены локальные сети двух структур: кольцевые и моноканальные (типа BITBUS). Последние, на наш взгляд, являются более удобными для рассматриваемого класса управляющих сетей, так как допускают простую наращиваемость и модифицируемость системы. Кроме того, в моноканальной сети время доставки сообщения не зависит от общего числа МК, и они обладают большей живучестью и надежностью.

В сетях с единым моноканалом все МК связаны между собой одной общей (разделяемой) линией связи (рис. 6.17). В качестве линии передачи данных обычно используется коаксиальный кабель или витая пара с согласующими резисторами на концах.

Существует несколько известных методов доступа к разделяемой линии (протоколов), позволяющих осуществлять обмен данными между многими МК сети, т.е. обеспечивающих разделение канала связи между многими подсистемами.

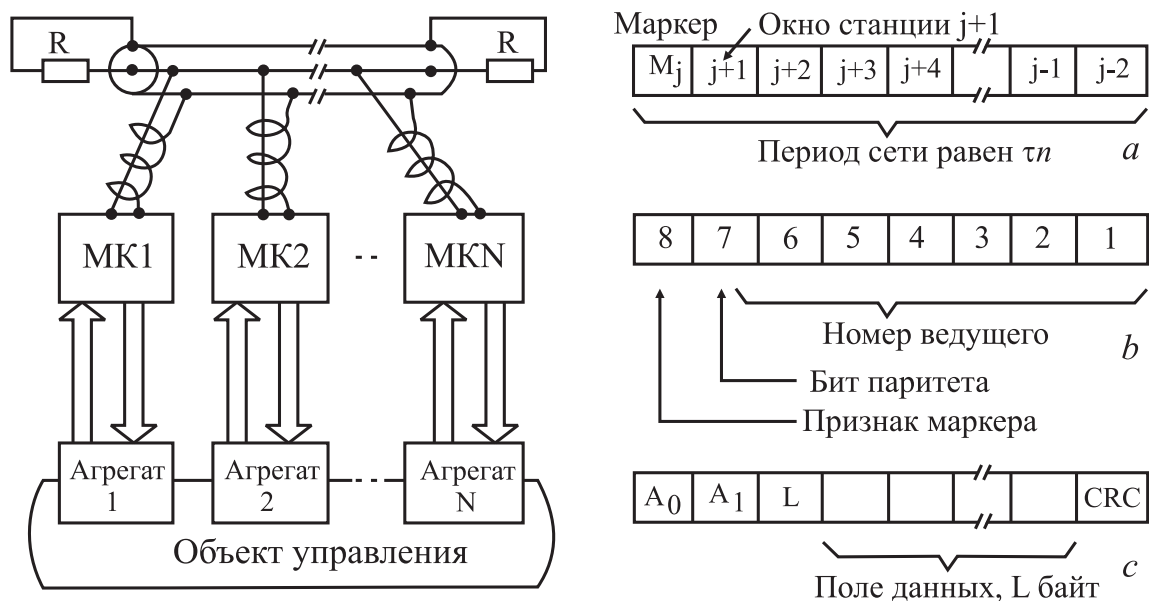


Рис. 6.17. Структура локальной управляющей сети на основе моноканала (слева) и интегральный маркерный доступ к моноканалу (справа):  $a$  – диаграмма одного периода сети;  $b$  – маркер;  $c$  – формат сообщения

Наиболее перспективным методом доступа к разделяемому моноканалу, на наш взгляд, является интервально-маркерный метод, позволяющий устранить конфликты в канале и наиболее полно использовать пропускную способность канала. Вкратце этот метод сводится к следующему:

1. При нулевой загрузке в канале периодически появляется маркер, генерируемый одним из МК сети. Маркер содержит номер МК, являющегося ведущим. Главная обязанность ведущего – поддерживать синхронизм в сети путем периодической выдачи маркера в канал.

2. Период генерации маркера состоит из определенного числа окон, равного числу МК в сети. Каждое окно имеет свой номер и принадлежит одной из подсистем.

3. В процессе захвата канала МК, желающий выдать свой пакет (сообщение), должен дождаться появления маркера и отсчитать от него свое окно. Если при этом его не опередят другие МК, то, дождавшись своего окна, подсистема может, не опасаясь конфликтов, начинать передачу данных (рис. 6.17,  $a$ ).

4. После выдачи сообщения МК генерирует свой маркер и становится новым ведущим. Старый ведущий сети, распознав, что моноканал захвачен, освобождается от этой роли.

5. Отсчет момента времени от маркера до своего окна производится по следующему правилу. Длительность окна принимается равной времени передачи одного байта данных. Если ведущий МК имел номер  $l$ , то первое окно будет принадлежать МК с номером  $l + 1$ , затем

МК с номером  $l + 2$  и т.д. Время ожидания своего окна ( $T$ ) можно определить как  $T = \tau \cdot X$ , где  $\tau$  – время передачи одного байта, т.е. длительность окна. Число  $X$  определяется следующим образом:

$$X = \begin{cases} k - l - 1, & \text{если } k > l; \\ k - l + 1, & \text{если } k < l, \end{cases}$$

где  $k$  – номер МК, пытающегося захватить канал,  $k = 0 \div (n - 1)$ ;  
 $l$  – номер ведущего,  $l = 0 \div (n - 1)$ ;  $n$  – число МК в сети.

6. Если самому ведущему необходимо выдать сообщение, то он может захватить канал во время своего окна, т.е. вместо генерации очередного маркера начать передавать свое сообщение.

7. Выдав маркер, ведущий МК запускает таймер на время  $\tau \cdot (n - 1)$ ; если за это время никто не захватит канал, то весь цикл повторяется еще раз и т.д.

8. Каждый МК принимает все байты, передаваемые по каналу. Для контроля пропажи маркера каждый МК после приема каждого байта запускает таймер на задержку  $\tau \cdot (n + 1)$ . Таким образом, пропаша маркера (а следовательно, и синхронизма сети) фиксируется, если за время  $\tau \cdot (n + 1)$  не было передано ни одного байта.

9. При обнаружении пропажи маркера для восстановления синхронизма в сети каждый МК выполняет следующие простые действия: выдерживает паузу длительностью  $\tau \cdot (i + 1)$ , где  $i$  – собственный номер МК; если во время паузы вновь не было принято никакой информации, то данный МК становится ведущим и генерирует новый маркер.

Этой процедурой обеспечивается автоматическое восстановление работы сети при отказе МК, являющегося в данный момент ведущим.

10. При интервально-маркерном методе удастся избежать любых конфликтов в канале в силу следующих причин:

- контроль пропажи маркера ведется постоянно всеми МК и полностью синхронно, так как счетчики паузы корректируются примерно одновременно при приеме каждого байта и, следовательно, все МК обнаружат пропажу маркера одновременно;

- одновременно начинается отсчет паузы  $\tau \cdot (i + 1)$  всеми МК;

- микроконтроллер с меньшим номером первым генерирует маркер и восстановит синхронизм в сети.

Последовательный порт MCS51 допускает передачу 9-битных кодов. Используя это, можно легко ввести признак маркера таким образом, что байт маркера будет отличаться от любого информационного байта. На рис. 6.17, *b* представлена структура маркера; старший бит является признаком маркера (для маркера 1). Бит 7 используется для простейшего контроля по паритету. Семибитное поле адреса позволяет иметь в системе до 127 подсистем с номерами от 0 до 126. Адрес 127 зарезервирован для широковещательной передачи.

Рекомендуемый формат сообщения представлен на рис. 6.17,с и предусматривает следующие поля:  $A_0$  – адрес получателя;  $A_1$  – адрес отправителя;  $L$  – длина поля данных (0-255); CRC – байт контрольной суммы.

Для реализации подсистемы требуются следующие ресурсы: УАПП, таймер, два уровня прерываний. Необходимым набором ресурсов располагает MCS51, позволяющий вести передачу и прием данных со скоростью до 375 Кбит/с. Время передачи одного байта, обрамленного стартовым и стоповым битами (плюс 9-й разряд), составляет 58.7 мкс. Пропускная способность сети при этом равна примерно 17 Кбайт/с.

Микроконтроллер, работающий в составе распределенной системы управления на основе локальной сети, должен, кроме прикладной программы управления, иметь еще и программные средства доступа к моноканалу. Таким образом, МК должен работать в двухпрограммном режиме с разделением всех ресурсов между этими двумя сопрограммами. Разумеется, должен быть реализован механизм взаимодействия между сетевой и прикладной программами. Чаще всего этот механизм реализуется путем присвоения сетевой программе более высокого приоритета.

### 6.6. Система команд MCS51

#### 6.6.1. Общие сведения о системе команд

Система команд MCS51 содержит 111 базовых команд, которые удобно разделить по функциональному признаку на пять групп: команды передачи данных, арифметических операций, логических операций, передачи управления и операций с битами. В ее состав входят команды умножения, деления, вычитания, операций над битами, операций со стеком и расширенный набор команд передачи управления.

Большинство команд (94) имеют формат один или два байта и выполняются за один или два машинных цикла. При тактовой частоте 12 МГц длительность машинного цикла составляет 1 мкс.

На рис. 6.18 показаны 13 типов команд MCS51. Первый байт команды любых типа и формата всегда содержит код операции (КОП). Второй и третий байты содержат либо адреса операндов, либо непосредственные операнды.

**Типы операндов.** Состав операндов MCS51 включает в себя операнды четырех типов: биты, 4-битные цифры, байты и 16-битные слова.

MCS51 имеет 128 программно-управляемых флагов пользователя, а также допускает адресацию отдельных битов блока РСФ и портов.

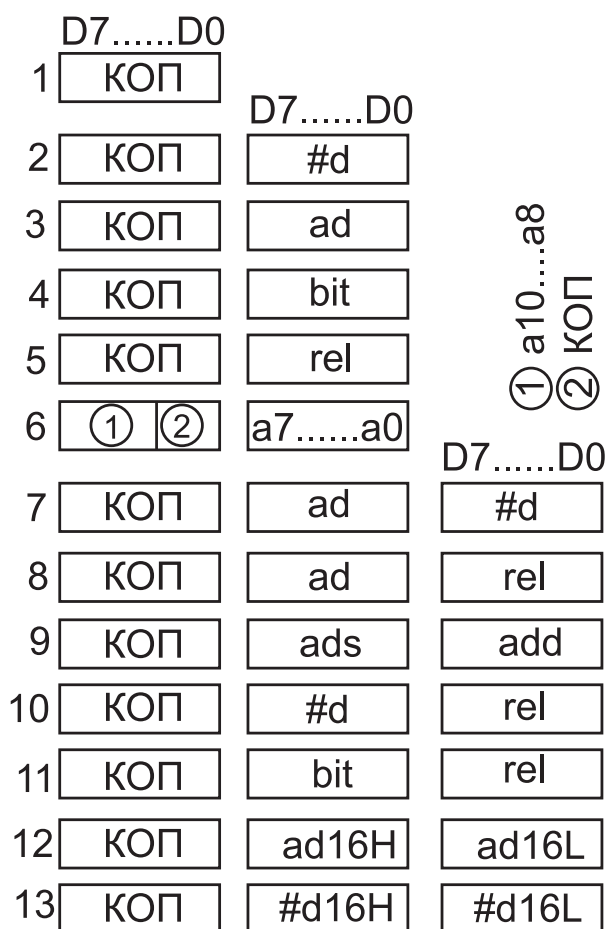


Рис. 6.18. Типы команд микроконтроллера MCS51

Для адресации бита используется прямой 8-битный адрес (bit). Косвенная адресация бит невозможна. Карты адресов отдельных битов представлены на рис. 6.19. Четырехбитные операнды используются только при операциях обмена (команды SWAP и XCHD). Восьмибитным операндом может быть ячейка памяти программ или данных (резидентной или внешней), константа (непосредственный операнд), РСФ, а также порты ввода-вывода. Порты и РСФ адресуются только прямым способом. Байты памяти могут адресоваться также и косвенным образом: через адресные регистры (R0, R1 DPTR и PC). Двухбайтные операнды – это константы и прямые адреса, для представления которых используются второй и третий байты команды.

**Способы адресации данных.** Система команд MCS51 допускает множество комбинаций способов адресации операндов в командах, что делает ее гибкой и универсальной. Набор команд MCS51 поддерживает следующие режимы адресации:

**Прямая адресация.** Операнд определяется 8-битовым адресом в инструкции. Прямая адресация используется только для младшей

|     |  | РПД (D7) (D0) |    |    |    |    |    |    |    |      |    | РСФ (D7) (D0) |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
|-----|--|---------------|----|----|----|----|----|----|----|------|----|---------------|----|----|----|----|----|----|------|--|--|
| 7FH |  |               |    |    |    |    |    |    |    | 0FFH |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 2FH |  | 7F            | 7E | 7D | 7C | 7B | 7A | 79 | 78 | 0F0H | F7 | F6            | F5 | F4 | F3 | F2 | F1 | F0 | B    |  |  |
| 2EH |  | 77            | 76 | 75 | 74 | 73 | 72 | 71 | 70 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 2DH |  | 6F            | 6E | 6D | 6C | 6B | 6A | 69 | 68 | 0E0H | E7 | E6            | E5 | E4 | E3 | E2 | E1 | E0 | A    |  |  |
| 2CH |  | 67            | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 2BH |  | 5F            | 5E | 5D | 5C | 5B | 5A | 59 | 58 | 0D0H | D7 | D6            | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 | PSW  |  |  |
| 2AH |  | 57            | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 29H |  | 4F            | 4E | 4D | 4C | 4B | 4A | 49 | 48 | 0B8H | -  | -             | -  | BC | BB | BA | B9 | B8 | IP   |  |  |
| 28H |  | 47            | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 | 40 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 27H |  | 3F            | 3E | 3D | 3C | 3B | 3A | 39 | 38 | 0B0H | B7 | B6            | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | P3   |  |  |
| 26H |  | 37            | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 25H |  | 2F            | 2E | 2D | 2C | 2B | 2A | 29 | 28 | 0A8H | AF | -             | -  | AC | AB | AA | A9 | A8 | IE   |  |  |
| 24H |  | 27            | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 23H |  | 1F            | 1E | 1D | 1C | 1B | 1A | 19 | 18 | 0A0H | A7 | A6            | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | A0 | P2   |  |  |
| 22H |  | 17            | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 21H |  | 0F            | 0E | 0D | 0C | 0B | 0A | 09 | 08 | 98H  | 9F | 9E            | 9D | 9C | 9B | 9A | 99 | 98 | SCON |  |  |
| 20H |  | 07            | 06 | 05 | 04 | 03 | 02 | 01 | 00 |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 1FH |  | Банк 3        |    |    |    |    |    |    |    | 90H  | 97 | 96            | 95 | 94 | 93 | 92 | 91 | 90 | P1   |  |  |
| 18H |  | Банк 2        |    |    |    |    |    |    |    |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 17H |  | Банк 1        |    |    |    |    |    |    |    | 88H  | 8F | 8E            | 8D | 8C | 8B | 8A | 89 | 88 | TCON |  |  |
| 10H |  | Банк 0        |    |    |    |    |    |    |    |      |    |               |    |    |    |    |    |    |      |  |  |
| 0FH |  | Банк 0        |    |    |    |    |    |    |    | 80H  | 87 | 86            | 85 | 84 | 83 | 82 | 81 | 80 | P0   |  |  |

Рис. 6.19. Карты адресуемых битов в резидентной памяти данных – РПД и регистрах специальных функций – РСФ

половины внутренней памяти данных и регистров специальных функций (РСФ).

*Косвенная адресация.* Инструкция адресует регистр, содержащий адрес операнда во внешнем или внутреннем ОЗУ. Для указания 8-битовых адресов используют регистры R0 и R1 выбранного регистрового банка или указатель стека SP. Для 16-битовой адресации используется регистр указателя данных DPTR.

*Регистровые инструкции.* Регистры R0-R7 текущего регистрового банка могут быть адресованы через конкретные инструкции, содер-

жащие 3-битовое поле, указывающее номер регистра в самой инструкции. В этом случае соответствующее поле адреса в команде отсутствует.

*Операции с использованием специальных регистров.* Некоторые инструкции используют индивидуальные регистры, например операции с аккумулятором, DPTR и т.д. В данном случае адрес операнда вообще не указывается в команде. Он предопределяется кодом операции.

*Непосредственные константы.* Константа может находиться прямо в команде за кодом операции.

*Индексная адресация.* Индексная адресация может использоваться только для доступа к программной памяти и только в режиме чтения. В этом режиме осуществляется просмотр таблиц в памяти программ. 16-битовый регистр (DPTR или программный счетчик) указывает базовый адрес требуемой таблицы, а аккумулятор указывает на точку входа в нее.

*Символическая адресация.* При использовании ассемблера ASM51 для получения объектных кодов программ допускается применение в программах символических имен регистров специальных функций, портов и их отдельных битов (см. рис. 6.19).

Для адресации отдельных битов РСФ и портов (такая возможность имеется не у всех РСФ) можно использовать символическое имя бита следующей структуры:

<имя РСФ или порта >.< номер бита >

Например, символическое имя пятого бита аккумулятора будет следующим: АСС.5. Символические имена РСФ, портов и их битов являются зарезервированными словами для ASM-51, и их не надо определять с помощью директив ассемблера.

*Флаги результата.* Слово состояния программы (PSW) включает в себя четыре флага: С – перенос, АС – вспомогательный перенос, ОV – переполнение и Р – паритет.

Флаг паритета напрямую зависит от текущего значения аккумулятора. Если число единичных битов аккумулятора нечетное, то флаг Р устанавливается, а если четное – сбрасывается. Все попытки изменить флаг Р, присваивая ему новое значение, будут безуспешными, если содержимое аккумулятора при этом останется неизменным. Флаг АС устанавливается в случае, если при выполнении операции сложения/вычитания между тетрадами байта возник перенос/заем. Флаг С устанавливается, если в старшем бите результата возникает перенос или заем. При выполнении операций умножения и деления сбрасы-

вается флаг C. Флаг OV устанавливается, если результат операции сложения/вычитания не укладывается в семи битах и старший (восьмой) бит результата не может интерпретироваться как знаковый. При выполнении операции деления флаг OV сбрасывается, а при делении на нуль – устанавливается. При умножении флаг OV устанавливается, если результат больше 255.

В табл. 6.11 перечисляются команды, при выполнении которых модифицируются флаги результата. В таблице отсутствует флаг паритета, так как его значение изменяется всеми командами, которые изменяют содержимое аккумулятора. Кроме команд, приведенных в таблице, флаги модифицируются командами, в которых местом назначения результата определены PSW или его отдельные биты, а также командами операций над битами.

Таблица 6.11. Команды, модифицирующие флаги результата

| Команды | Флаги     | Команды  | Флаги             |
|---------|-----------|----------|-------------------|
| ADD     | C, OV, AC | CLR C    | C=0               |
| ADDC    | C, OV, AC | CPL C    | C= $\overline{C}$ |
| SUBB    | C, OV, AC | ANL C,b  | C                 |
| MUL     | C=0, OV   | ANL C,/b | C                 |
| DIV     | C=0, OV   | ORL C,b  | C                 |
| DA      | C         | ORL C,/b | C                 |
| RRC     | C         | MOV C,b  | C                 |
| RLC     | C         | CJNE     | C                 |
| SETB C  | C=1       |          |                   |

### Группа команд передачи данных

Большую часть команд данной группы (прил. 3) составляют команды передачи и обмена байтов. Команды пересылки бит представлены в группе команд битовых операций. Все команды данной группы не модифицируют флаги результата, за исключением команд загрузки PSW и аккумулятора (флаг паритета).

**Структура информационных связей.** В зависимости от способа адресации и места расположения операнда можно выделить девять типов операндов, между которыми возможен информационный обмен. Граф возможных операций передачи данных показан на рис. 6.20. Аккумулятор (A) представлен на этом графе отдельной вершиной, так как многие команды используют неявную (подразумеваемую) адресацию. Передачи данных в MCS51 могут выполняться без участия аккумулятора.



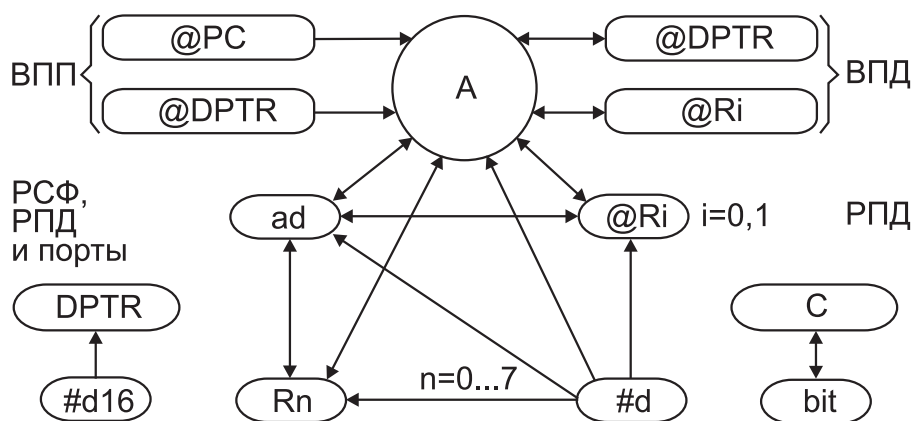


Рис. 6.20. Граф путей передачи данных в MCS51

**Аккумулятор.** Обращение к аккумулятору может быть выполнено с использованием неявной и прямой адресации. В зависимости от способа адресации аккумулятора применяется одно из символических имен: A или ACC (прямой адрес). При прямой адресации обращение к аккумулятору производится как к одному из РСФ, и его адрес указывается во втором байте команды.

Использование неявной адресации аккумулятора предпочтительнее, однако не всегда возможно, например при обращении к отдельным битам аккумулятора.

**Обращение к внешней памяти данных.** Режим косвенной адресации ВПД также реализован в MCS51. При использовании команд MOVX @Ri обеспечивается доступ к 256 байтам внешней памяти данных.

Существует также режим обращения к расширенной ВПД, когда для доступа используется 16-битный адрес, хранящийся в регистре-указателе данных (DPTR). Команды MOVX @DPTR обеспечивают доступ к 65536 байтам ВПД.

### Группа команд арифметических операций

Данную группу образуют 24 команды (см. прил. 3), выполняющие операции сложения, десятичной коррекции, инкремента/декремента байтов. Введены команды вычитания, умножения и деления байтов.

Команды ADD и ADDC допускают сложение аккумулятора с большим числом операндов. Аналогично командам ADDC существуют четыре команды SUBB, что позволяет производить вычитание байтов и многобайтных двоичных чисел. В MCS51 реализуется расширенный список команд инкремента/декремента байтов, введена команда инкремента 16-битного регистра-указателя данных.

### Группа команд логических операций

Данную группу образуют 25 команд (см. прил. 3), реализующих те же логические операции над байтами, что и в МК48. Однако в MCS51 значительно расширено число типов операндов, участвующих в операциях. Имеется возможность производить операцию *исключающее ИЛИ* с содержимым портов. Команда XRL может быть эффективно использована для инверсии отдельных битов портов.

### Группа команд операций с битами

Отличительной особенностью данной группы команд (см. прил. 3) является то, что они оперируют с однобитными операндами. В качестве таких операндов могут выступать отдельные биты некоторых регистров специальных функций (РСФ) и портов, а также 128 программных флагов пользователя.

Существуют команды сброса (CLR), установки (SETB) и инверсии (CPL) бита, а также конъюнкции и дизъюнкции бита и флага переноса. Для адресации бит используется прямой восьмиразрядный адрес (bit). Косвенная адресация бит невозможна.

### Группа команд передачи управления

К данной группе команд (см. прил. 3) относятся команды, обеспечивающие условное и безусловное ветвление, вызов подпрограмм и возврат из них, а также команда пустой операции NOP. В большинстве команд используется прямая адресация, т.е. адрес перехода целиком (или его часть) содержится в самой команде передачи управления. Можно выделить три разновидности команд ветвления по разрядности указываемого адреса перехода.

**Длинный переход.** Переход по всему адресному пространству ПП. В команде содержится полный 16-битный адрес перехода (ad16). Трехбайтные команды длинного перехода содержат в мнемокоде букву L (Long). Всего существует две такие команды: LJMP – длинный переход и LCALL – длинный вызов подпрограммы. На практике редко возникает необходимость перехода в пределах всего адресного пространства и чаще используются укороченные команды перехода, занимающие меньше места в памяти.

**Абсолютный переход.** Переход в пределах одной страницы памяти программ размером 2048 байт. Такие команды содержат только 11

младших битов адреса перехода (ad11). Команды абсолютного перехода имеют формат 2 байта. Начальная буква мнемокода – А (Absolute). При выполнении команды в вычисленном адресе следующей по порядку команды  $((PC) = (PC) + 2)$  11 младших битов заменяются на ad11 из тела команды абсолютного перехода.

**Относительный переход.** Короткий относительный переход позволяет передать управление в пределах  $-128 \dots +127$  байтов относительно адреса следующей команды (команды, следующей по порядку за командой относительного перехода). Существует одна команда безусловного короткого перехода SJMP (Short). Все команды условного перехода используют данный метод адресации. Относительный адрес перехода (rel) содержится во втором байте команды.

**Косвенный переход.** Команда JMP @A + DPTR позволяет передавать управление по косвенному адресу. Эта команда удобна тем, что предоставляет возможность организации перехода по адресу, вычисляемому самой программой, и неизвестному при написании исходного текста программы.

**Условные переходы.** Развитая система условных переходов предоставляет возможность осуществлять ветвление по следующим условиям: аккумулятор содержит нуль (JZ); содержимое аккумулятора не равно нулю (JNZ); перенос равен единице (JC); перенос равен нулю (JNC); адресуемый бит равен единице (JB); адресуемый бит равен нулю (JNB).

Для организации программных циклов удобно пользоваться командой DJNZ, которая в качестве счетчика циклов может использовать не только регистр, но и прямо адресуемый байт (например, ячейка РПД).

Команда CJNE эффективно используется в процедурах ожидания какого-либо события. Например, команда

WAIT: CJNE A,P0,WAIT ; Ожидание события

будет выполняться до тех пор, пока на линиях порта 0 не установится информация, совпадающая с содержимым аккумулятора.

Все команды данной группы, за исключением CJNE и JBC, не оказывают воздействия на флаги. Команда CJNE устанавливает флаг С, если первый операнд оказывается меньше второго. Команда JBC сбрасывает флаг С в случае перехода.

## Подпрограммы

Для обращения к подпрограммам необходимо использовать команды вызова подпрограмм (LCALL, ACALL). Эти команды в отличие от команд перехода (LJMP, AJMP) сохраняют в стеке адрес возврата в основную программу. Для возврата из подпрограммы необходимо выполнить команду RET. Команда RETI отличается от команды RET тем, что разрешает прерывания обслуженного уровня. Достаточно часто возникает необходимость такой организации вычислительного процесса, при которой подпрограмма вызывает другую подпрограмму, та в свою очередь вызывает следующую и т.д. Этот процесс называется вложением подпрограмм. Число подпрограмм, которые могут быть вызваны таким образом (глубина вложенности подпрограмм), ограничивается только емкостью стека.

**Сохранение параметров основной программы.** Иногда при обращении к подпрограмме возникает необходимость сохранить не только адрес возврата в основную программу, но и содержимое отдельных рабочих регистров. Удобным способом для этого является переключение банка регистров. Например, если основная программа использует банк регистров 0, то подпрограмма может использовать банк регистров 1. Однако переключение банка регистров не обеспечивает сохранение содержимого аккумулятора, что приводит к необходимости создавать в одном из рабочих регистров, стеке или РПД копию содержимого аккумулятора.

**Параметризация подпрограмм.** Для успешной работы любой подпрограммы необходимо однозначно определить способ передачи в нее исходных данных и способ вывода результата ее работы. Подпрограмма, которой требуется дополнительная информация в виде параметров ее настройки или операндов, называется параметризуемой. Примером параметризуемой подпрограммы может служить подпрограмма временной задержки, если основной программе требуется реализация временных задержек различной длительности. Основная программа при этом должна поддерживать передачу в подпрограмму данных, обеспечивающих требуемое время задержки.

Получили распространение три способа передачи параметров: через память, через регистры общего назначения и через регистр признаков. При передаче входных параметров через память основная программа обязательно содержит команды загрузки выбранных ячеек памяти, а подпрограмма – команды считывания из этих ячеек. При передаче выходных параметров подпрограмма должна загрузить выбранные ячейки памяти, а основная программа – считать. Передача па-

раметров через регистры осуществляется аналогичным образом. Третий способ передачи параметров – через регистр признаков – удобно использовать при передаче выходных параметров (например, в подпрограммах сравнения чисел). В этом случае подпрограмма должна установить (или сбросить) соответствующие признаки, а основная программа – проанализировать их значение. В распоряжении пользователя имеется также 128 флагов, доступных для модификации и анализа. Возможна также передача параметров через стек. Этот способ, в частности, позволяет использовать в качестве параметра содержимое счетчика команд.

Использование процедур, оформленных в виде подпрограмм, при разработке программного обеспечения имеет ряд достоинств. Прежде всего относительно простые модули, выделенные из сложной программы, могут программироваться несколькими разработчиками в целях сокращения времени проектирования. Еще более важным является то, что любая подпрограмма допускает автономную отладку. Это, как правило, многократно сокращает время отладки всего прикладного программного обеспечения. И, наконец, механизм использования подпрограмм, реализующих требуемый набор процедур, уменьшает длину прикладной программы, что имеет своим следствием уменьшение требуемой емкости памяти программ.

Существенным является и то обстоятельство, что отлаженные процедуры организуются разработчиками в библиотеки параметризуемых подпрограмм и могут быть многократно использованы в проектной работе. Отметим, что библиотека параметризуемых подпрограмм строится на основе принятого разработчиками библиотеки соглашения о едином способе обмена параметрами.

## 7. РАЗВИТИЕ ПЛАТФОРМЫ MCS51

Удачный набор периферийных устройств, возможность гибкого выбора внешней или внутренней программной памяти, приемлемая цена и доступность инструментальных средств отладки разного уровня стали ключевыми факторами успеха микроконтроллеров серии 8051 на мировом рынке. В процессе развития появились усовершенствованные модели микроконтроллеров семейства MCS51, оснащенные дополнительными периферийными устройствами [28].

Наряду с созданием сложных и высокоинтегрированных схем совершенствуются микросхемы, выпуск которых был освоен давно, например 8-разрядные микроконтроллеры или однокристалльные микроЭВМ семейства MCS51. Эти микросхемы хорошо зарекомендовали себя в экономичных и сравнительно несложных устройствах. Основными направлениями модернизации данных микроконтроллеров являются увеличение внутренней памяти программ до 32 Кб, причем она может быть выполнена в виде масочного ПЗУ, однократно программируемого ПЗУ или с СППЗУ ультрафиолетовым стиранием; снижение потребляемой мощности путем применения КМОП-технологии и специальных режимов пониженного энергопотребления; увеличение тактовой частоты до 20 МГц; модификация режимов работы счетчиков-таймеров и последовательного порта; размещение на кристалле дополнительного оборудования.

В настоящее время фирма Intel прекратила производство кристаллов MCS51 и сосредоточила свои усилия главным образом на рынке “больших” микропроцессоров (Pentium, Xeon, Itanium и др.). Образовавшуюся нишу тотчас заполнили фирмы с не менее известными именами – Philips, Siemens, AMD, Atmel, Oki, SST, MHS, ISSI, LG и т.д. Некоторые из них выпускают микроконтроллеры собственной разработки с системой команд “базовой архитектуры” и развитой периферией, отвечающей современным потребностям. В этой связи факт ухода Intel с рынка MCS51 для конкретного разработчика может остаться и не замеченным, если только он не использует специализированные микроконтроллеры моделей Intel 8xC51GB и 80C152Jx – эти кристаллы не имеют своих точных аналогов среди изделий других фирм. Что же касается всех остальных МК семейства MCS51, то они многократно воспроизведены другими компаниями, и уход фирмы Intel с рынка никак на нем не скажется.

## 7.1. Модификация ядра Intel 8051/8052

В состав этого семейства входят микроЭВМ 80С52, 80С54, 80С58 (масочно программируемое ПЗУ), версии 87С52, 87С54 и 87С58 (СППЗУ с УФ-стиранием), а также микроЭВМ 80С32, не имеющая резидентного ПЗУ. Между собой они различаются также корпусами, рабочими интервалами температур, предельно допустимой тактовой частотой и рядом других параметров, отражаемых в буквенно-цифровой информации после обозначения типа микроЭВМ. Эту информацию можно получить из фирменных руководств Intel, AMD и других производителей микроЭВМ рассматриваемого семейства.

В отличие от 8051 микроЭВМ семейства 8052 имеют:

- встроенное ПЗУ объемом 8К (80С52), 16К (80С54) и 32К байтов (80С58);
- встроенное ОЗУ объемом 256 байтов;
- дополнительные специальные функциональные регистры;
- таймер/счетчик 2 (далее для краткости – Т/С2), способный работать в режимах защелки, таймера/счетчика, допускающего счет как на увеличение, так и на уменьшение, и генератора скорости передачи в бодах;
- программируемый последовательный интерфейс с детектированием ошибок передачи и автоматическим распознаванием адреса;
- шесть источников прерываний;
- расширенный режим снижения потребляемой мощности;
- флаг отключения питания;
- режим ONCE.

МикроЭВМ 8052 используют стандартный набор команд семейства 8051, их выводы взаимно однозначно соответствуют выводам этих микроЭВМ. Отличие заключается лишь в том, что, помимо ввода/вывода информации, выводы P1.0 и P1.1 i8052 могут выполнять альтернативные функции: первый из них играет роль внешнего входа для Т/С2, а второй управляет перезагрузкой/защелкиванием информации в регистры Т/С2.

### 7.1.1. Intel 8XC51FA

В качестве одной из перспективных моделей MCS51 можно считать микросхему 8XC51FA. В ее состав входят:

- четыре 8-битных параллельных порта;
- модуль PCA;
- последовательный порт;
- три 16-битных счетчика- таймера.

Микроконтроллеры с резидентной памятью программ позволяют защищать свои программные коды от копирования. Для этого

используется схема блокировки внутренней памяти программ, которая состоит из специальных битов (Lock bits) и кодирующего массива (Encryption Array). Запрограммировав один или несколько таких битов, можно полностью или частично заблокировать эту память. При полной блокировке будут невозможны чтение с внешней шины внутренней памяти программ, дальнейшее программирование кристалла, выполнение команд из внешней памяти программ. При частичной блокировке возможно запретить или разрешить вышеперечисленные действия по отдельности. Кодирующий массив используется для поразрядного выполнения логической операции XNOR над байтами из внутренней памяти программ и байтами из этого массива при верификации, если она разрешена.

Основным отличием моделей 8XC51FA от отечественных аналогов является наличие модуля PCA (Programmable Counter Array).

Это устройство состоит из 16-разрядного счетчика-таймера и пяти модулей сравнения-захвата. В качестве входных импульсов для счетчика-таймера могут служить сигналы:

- частота резонатора /12;
- переполнение от Timer 0;
- частота резонатора /4;
- внешний сигнал на контакте P1.2.

Каждый из пяти модулей сравнения-захвата может работать в следующих режимах :

- захват положительного или отрицательного фронта;
- программный таймер;
- скоростной вывод;
- генератор прямоугольных импульсов с заданной скважностью.

Четвертый модуль имеет также режим сторожевого таймера.

PCA рекомендуется использовать для измерения таких параметров, как ширина импульса, разность фаз, скважность и частота, а также для формирования на внешних выводах микроконтроллера прямоугольных сигналов. В принципе для этих целей можно использовать счетчики-таймеры, которые имеются на кристалле. Однако при использовании PCA повышается точность за счет того, что счетчик-таймер, входящий в состав PCA, может изменять свое значение трижды за машинный цикл. Отметим, что обычные счетчики-таймеры могут изменять свое значение лишь один раз за машинный цикл. Кроме того, PCA требует значительно меньшего вмешательства процессора.

### 7.1.2. Intel 8XC51GB

Большой интерес для разработчиков электронной аппаратуры могут представлять микроконтроллеры 8XC51GB. На кристалле этого устройства имеется следующее оборудование:



- шесть 8-битных параллельных портов;
- два модуля PCA ;
- три 16-битных счетчика- таймера;
- детектор падения частоты;
- два последовательных порта;
- отдельный Watchdog Timer;
- 8-канальный, 8-битный АЦП поразрядного приближения.

### 7.1.3. Intel 80C152

Развитие коммуникационных возможностей MCS51 нашло отражение в микроконтроллере 80C152, где наряду с обычным последовательным портом появляется GSC (Global Serial Channel). Это устройство поддерживает стандартные протоколы SDLC и применяемый в сетях Ethernet CSMA/CD. Также возможно использование протоколов, определенных пользователем. GSC обеспечивает работу на физическом и канальном уровнях согласно базовой модели открытых систем ISO. Для передачи информации используются NRZI и манчестерский коды. Кроме GSC микроконтроллер 80C152 имеет пять 8-битных параллельных портов для 48-выводного DIP корпуса (семь для 68-выводного PLCC), два канала ПДП и два счетчика-таймера.

### 7.1.4. Маркировка микроконтроллеров фирмы Intel

Для маркировки микросхем фирмой INTEL применяется система обозначений из нескольких полей:

|   |    |                    |        |
|---|----|--------------------|--------|
| 1 | 2  | 3                  | 4      |
| X | XX | XXXXXXXXXXXXXXXXXX | XXXXXX |

**Первое поле** содержит однобуквенный префикс, отражающий температурный диапазон микросхемы:

**A** – (Automotive), автомобильное исполнение для расширенного температурного диапазона (-40...+125°C);

**M** – (Military), исполнение по военным стандартам (-55...+125°C);

**Q** или **C** – (Commercial), “коммерческий” температурный диапазон (0...+70°C) с (160+8)-часовой динамической термотренировкой;

**L** или **E** – (Extended), “расширенный” температурный диапазон (-40...+85°C) с (160+8)-часовой динамической термотренировкой;

**T** – (Extended), расширенный (-40...+85°C) температурный диапазон без термотренировки;

**I** – (Industrial), исполнение по промышленным стандартам.

**Второе поле** содержит одно- или двухбуквенный префикс, указывающий на вариант исполнения корпуса микросхемы (Package Type).

Различных типов корпусов микросхем на сегодняшний день несколько десятков, поэтому в качестве примера приведем лишь некоторые обозначения:

- A** – Ceramic Pin Grid Array, (PGA);
- C** – Ceramic Dual In-Line Package, (CDIP);
- K** – Ceramic Quad Flatpack Package, (QFP);
- KD** – Plastic Quad Flatpack Package, Fine Pitch, Die Down, (PQFP);
- KU** – Plastic Quad Flatpack Package, Fine Pitch, Die Up, (PQFP);
- N** – Plastic Leaded Chip Carrier, (PLCC);
- P** – Plastic Dual In-Line Package, (PDIP);
- SM** – Single In-Line Leadless Memory Module, (SIMM);
- U** – Plastic Dual In-Line Package, Shrink Dip, (PDIPS);
- Z** – Zigzag In-Line Package, (ZIP).

**Третье поле** может содержать до 15 цифровых и буквенных символов, указывающих на тип конкретного устройства, расположенного на кристалле.

**Четвертое поле** может включать до шести цифровых и буквенных символов, отражающих различные особенности и варианты исполнения микросхем.

Дополнительную информацию по типам корпусов и их конструктивному исполнению можно найти в книге: Packaging Order Number 240800.

Применительно к описываемым микроконтроллерам семейства MCS51, первый символ третьего поля традиционно (для фирмы Intel) равен (8). Второй символ третьего поля обычно указывает на тип встроенного ПЗУ:

- 0** – масочное ПЗУ программ; кристалл без ПЗУ (для поздних версий кристаллов);
- 1** – масочное ПЗУ программ (Standard ROM Code, Firmware);
- 3** – масочное ПЗУ (для поздних версий кристаллов), (Customizable ROM Code);
- 7** – УФРПЗУ или однократно-программируемое ПЗУ (EPROM or OTP ROM);
- 8** – ЭСППЗУ (Flash - память на кристалле).

Далее может следовать буква, указывающая на технологические особенности изготовления:

- отсутствие буквы – технология NMOS, питание 5 В;
- C** – технология CHMOS, питание 5 В;
- L** – технология CHMOS, питание 3 В.

Следующими символами третьего поля для микроконтроллеров семейства MCS51 являются номера (например, 31, 32, 51, 54, 58, 152) и от одной до четырех букв, которые отражают функциональные особенности кристаллов (например, объем ПЗУ, специфику группы кристаллов, наличие системы защиты памяти программ от несанкционированного доступа).

рованного доступа, возможность использования более совершенного алгоритма программирования Quick Pulse и тому подобное).

В оригинальной технической документации фирмы Intel все микроконтроллеры семейства MCS51 скомпонованы по группам продукции (Product Line), каждая из которых объединяет наиболее близкие по своим функциональным возможностям и электрическим параметрам версии кристаллов. Поскольку наименования микросхем одной группы различаются незначительно, то для обозначения каждой отдельной группы применяется обобщенная символика, образованная из маркировки конкретных микросхем, путем замены различающихся символов на “X”. Таким образом, можно выделить следующие группы микроконтроллеров.

**Группа 8X5X** (8051 Product Line и 8052 Product Line): 8031АН, 8051АН, 8751Н, 8051АНР, 8751Н-8, 8751ВН, 8032АН, 8052АН, 8752ВН.

**Группа 8XC51** (80C51 Product Line): 80C31ВН, 80C51ВН, 87C51.

**Группа 8XC5X**(8XC52/54/58 Product Line): 80C32, 80C52, 87C52, 80C54, 87C54, 80C58, 87C58.

**Группа 8XC51FX** (8XC51FA/FB/FC Product Line): 80C51FA, 83C51FA, 87C51FA, 83C51FB, 87C51FB, 83C51FC, 87C51FC.

**Группа 8XL5X** (8XL52/54/58 Product Line): 80L52, 87L52, 80L54, 87L54, 80L58, 87L58.

**Группа 8XL51FX** (8XL51FA/FB/FC Product Line): 80L51FA, 83L51FA, 87L51FA, 83L51FB, 87L51FB, 83L51FC, 87L51FC.

**Группа 8XC51RX** (8XC51RA/RB/RC Product Line): 80C51RA, 83C51RA, 87C51RA, 83C51RB, 87C51RB, 83C51RC, 87C51RC.

**Группа 8XC51GB** (8XC51GX Product Line): 80C51GB, 83C51GB, 87C51GB.

**Группа 8XC152JX** (8XC152 Product Line): 80C152JA, 83C152JA, 80C152JB, 80C152JC, 83C152JC, 80C152JD.

**Группа 8XC51SL** (8XC51SL Product Line): 80C51SL-BG, 81C51SL-BG, 83C51SL-BG, 80C51-АН, 81C51SL-АН, 83C51SL-АН, 87C51SL-АН, 80C51SL-AL, 81C51SL-AL, 83C51SL-AL, 87C51SL-AL.

### 7.2. Микроконтроллеры семейства Intel MCS-251/151

Изначально наиболее “узкими” местами архитектуры MCS51 были восьмиразрядное АЛУ на базе аккумулятора и относительно медленное выполнение инструкций (для самых “быстрых” из них требуется 12 периодов тактовой частоты). Это ограничивало применение МК семейства в устройствах, требующих повышенного быстродействия и

сложных вычислений (16- и 32-битных). Насущным стал вопрос принципиальной модернизации старой архитектуры. Проблема осложнялась тем, что к началу 90-х годов уже была создана масса наработок в области программного и аппаратного обеспечения, и одной из основных задач разработки новой архитектуры стала реализация аппаратной и программной совместимости со старыми разработками на базе MCS51. Для решения этой задачи была создана совместная группа из специалистов компаний Intel и Philips, но позднее пути этих двух фирм разошлись. В результате в 1995 г. появилось два существенно различающихся семейства: Intel MCS-251/151 и Philips 51XA.

Основные характеристики архитектуры MSC-251:

- 24-разрядное линейное адресное пространство, обеспечивающее адресацию до 16 Мбайтов памяти;
- регистровая архитектура, допускающая обращение к регистрам как к байтам, словам и двойным словам;
- страничный режим адресации для ускорения выборки инструкций из внешней программной памяти;
- очередь инструкций;
- расширенный набор команд, включающий 16-битные арифметические и логические инструкции;
- расширенное до 64 Кбайтов адресное пространство стека;
- выполнение самой “быстрой” инструкции за два такта;
- совместимость на уровне двоичного кода с программами для MCS51.

Система команд MCS-251 построена на базе двух наборов инструкций: первый является копией системы команд MCS51, а второй состоит из расширенных инструкций, реализующих преимущества архитектуры MSC-251. Перед использованием МК его необходимо сконфигурировать, т.е. с помощью программатора установить конфигурационные байты, определяющие, какой из наборов инструкций станет активным после включения питания. Если установить набор инструкций MCS51, то MSC-251 будет совместим с MCS51 на уровне двоичного кода (режим Binary Mode). Расширенные инструкции в этом режиме также доступны, но через “окно” – зарезервированный код инструкции 0A5H. Естественно, длина каждой расширенной инструкции увеличивается в таком случае на 1 байт.

Если же изначально установить набор расширенных инструкций, то программы, написанные для MCS51, потребуют повторной компиляции на кросс-средствах для MCS51, так как теперь уже стандартные инструкции будут доступны через то же “окно” 0A5H и длина их также увеличится на 1 байт. Такой режим называется Source Mode. Он позволяет с максимальной эффективностью использовать расширенные инструкции и достигнуть наибольшего быстродействия, но требует переработки программного обеспечения.

Для пользователей, ориентированных на применение MCS-251 в качестве механической замены MCS51, фирма Intel выпускает MCS-251 с уже запрограммированными битами конфигурации в состоянии Binary Mode. Такие микроконтроллеры получили обозначение MCS-151.

Помимо Intel, МК MCS-251 по ее лицензии выпускает компания Temic Semiconductors. Подробную информацию о ее продукции можно получить на web-site фирмы (<http://www.temic-semi.com>). Основные технические характеристики МК семейства MCS-251 приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Микроконтроллеры семейства Intel MCS-251/151

| Микро-контроллер | ROM или EPROM, Кбайт | RAM, байт | Таймеры-счетчики | Последовательные каналы | Корпус (тип, число выводов) |
|------------------|----------------------|-----------|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 8xC251SA         | 8                    | 1024      | 3, PCA, WDT      | UART                    | D40, L44                    |
| 8xC251SB         | 16                   | 1024      | 3, PCA, WDT      | UART                    | D40, L44                    |
| 8xC251SP         | 8                    | 512       | 3, PCA, WDT      | UART                    | D40, L44                    |
| 8xC251SQ         | 16                   | 512       | 3, PCA, WDT      | UART                    | D40, L44                    |
| TSC8xC251G1      | 16                   | 1024      | 3, WDT           | UART, I2C, SPI          | L40, Q44                    |
| TSC8xC251A1      | 24                   | 1024      | 2, WDT           | UART                    | D40, L44, Q44               |
| 8Xc151SA         | 8                    | 256       | 3, PCA, WDT      | UART                    | D40, L44                    |
| 8xC151SB         | 16                   | 256       | 3, PCA, WDT      | UART                    | D40, L44                    |

**Примечание.** Максимальная тактовая частота всех модификаций – 16 МГц, число линий ввода/вывода – 32. МК TSC8xC251A1 имеет четырехканальный восьмиразрядный АЦП. Напряжение питания для всех микроконтроллеров от 4.5 до 5.5 В, рабочий интервал температур от –40 до +85°С.

Принятые сокращения: PCA – массив программируемых счетчиков; WDT – сторожевой таймер; UART – универсальный асинхронный последовательный приемопередатчик; I2C – двухпроводная двунаправленная шина. Корпус: D – DIP, L – PLCC, Q – QFP.

### 7.3. Микроконтроллеры семейства Intel MCS-96

#### 7.3.1. Общая характеристика

В семейство MCS-96 фирмы Intel (80C196) входит более 30 разновидностей микроконтроллеров. Это 16-разрядные, быстродействующие интегральные схемы высокой степени интеграции, ориентированные на решение задач управления процессами в реальном масштабе времени. Типичные области применения этих микроконтроллеров: управление двигателями, модемы, безъюзовые тормозные системы, контроллеры жестких дисков, медицинское оборудование.

История MCS-96 насчитывает более 15 лет. За это время специалисты фирмы Intel увеличили адресное пространство с 64 КБайт до 6 Мбайт, повысили тактовую частоту с 10 до 50 МГц, улучшили быстродействие в 16 раз и добились понижения цены на базовый кристалл примерно в 4 раза.

По сравнению с восьмиразрядными однокристальными микроконтроллерами данное микроконтроллерное семейство позволяет существенно расширить область применения встраиваемых микроконтроллеров в первую очередь за счет более высокой скорости и точности вычислений, а также за счет использования расположенных на кристалле новых периферийных устройств, обеспечивающих более высокую скорость обработки сигналов в управляющей системе и более высокую надежность функционирования системы.

Микроконтроллеры 80C196 фактически стали промышленным стандартом для 16-разрядных встроенных систем управления, обеспечивая сочетание высоких технических показателей и экономической эффективности. Например, именно благодаря этим микроконтроллерам, установленным в системе управления зажиганием, специалистам концерна Ford удалось существенно снизить потребление топлива, уменьшить выбросы вредных веществ и одновременно повысить скоростные характеристики своих машин.

#### 7.3.2. Структура микроконтроллера

Микроконтроллеры семейства MCS-96 являются микропроцессорными устройствами синхронного типа. Выполнение всех действий в микроконтроллере привязано во времени к тактовым сигналам, вырабатываемым внутренним генератором тактовых импульсов. Частота следования тактовых импульсов стабилизируется с помощью внешнего кварцевого резонатора. Высшее значение тактовой частоты ( $F_{\max}$ ) у микроконтроллеров разных типов может иметь значение 10, 12, 16 и 20 МГц.

Основными функциональными частями микроконтроллера являются процессор, память и периферия (набор периферийных устройств).

В состав процессора входят арифметико-логическое устройство (АЛУ, ALU) и регистровое оперативное запоминающее устройство (РОЗУ, RRAM).

**АЛУ.** В отличие от микроконтроллеров других семейств, АЛУ микроконтроллера семейства MCS-96 не имеет регистра-аккумулятора. В качестве регистра-аккумулятора может использоваться любой регистр РОЗУ. На частоте 16 МГц АЛУ выполняет 2 млн. оп/с в процессе элементарных операций над знаковыми/беззнаковыми данными длиной 1 или 2 байт. Для этих чисел имеются также операции умножения и деления (быстродействие: 580 тыс. умножений/с, 330 тыс. делений/с).

**РОЗУ** у микроконтроллеров разных типов может содержать 232, 360, 488 или 1000 восьмиразрядных регистров. Регистры РОЗУ используются для хранения только данных.

**Память** представлена постоянным (ПЗУ, ROM) запоминающим устройством. У микроконтроллеров некоторых типов в состав памяти входит оперативное запоминающее устройство (ОЗУ, RAM). Ячейки памяти в ОЗУ и ПЗУ могут использоваться для хранения данных и команд программы.

**ПЗУ** у контроллеров разных типов может содержать 8К, 12К, 16К, 24К или 32К восьмиразрядных ячеек памяти. В ПЗУ имеется область, предназначенная для хранения специальных данных (векторы прерывания, ключ защиты ПЗУ и другие специальные коды).

**ОЗУ** у контроллеров разных типов может иметь 128, 256 или 512 восьмиразрядных ячеек памяти. При использовании ОЗУ для размещения команд программы открывается возможность производить модификацию кода команд в процессе выполнения программы.

Процессор обращается к памяти через контроллер памяти (КП, MC). Через контроллер памяти осуществляется также обращение к внешней памяти, реализованной с помощью микросхем ОЗУ и ПЗУ. Контроллер памяти позволяет при одном обращении к памяти считывать или записывать как восьмиразрядные, так и шестнадцатиразрядные коды.

Максимальный суммарный объем внешней и внутренней памяти (без РОЗУ) у микроконтроллеров большинства типов составляет 64К×8 бит. У микроконтроллеров подсемейства NT суммарный объем памяти может быть доведен до 1М×8 бит. Микроконтроллеры, в обозначении типа которых на втором месте стоит цифра 0 (X=0), не имеют внутреннего ПЗУ. Его функции реализуются с помощью микросхем ПЗУ, входящих в состав внешней памяти.

#### Периферийные устройства микроконтроллера

Периферийные устройства семейства MCS-96 по выполняемым функциям могут быть отнесены к одной из шести групп:

- устройства ввода и вывода данных, представленных многоразрядными двоичными кодами;
- устройства ввода и вывода отдельных дискретных сигналов (включено-выключено);
- устройства ввода и вывода аналоговых сигналов;
- устройства обмена данными с другими микроконтроллерами и центральным процессором системы;
- устройства приема и обслуживания запросов прерывания;
- устройства контроля правильности функционирования микроконтроллера.

Для управления работой периферийных устройств и определения их состояния используются регистры специальных функций.

**Таймеры.** Два 16-разрядных таймера TIMER1 и TIMER2 обеспечивают синхронизацию работы устройства ввода-вывода импульсных сигналов (HSIO, High Speed In/Out unit) с реальным временем и внешними событиями. TIMER1 синхронизируется изнутри, тогда как TIMER2 синхронизируется снаружи.

**Code RAM.** Это дополнительное ОЗУ, в котором можно размещать исполняемый код. Этот код будет выполняться очень быстро, так как Code RAM имеет 16-разрядный интерфейс с нулевым циклом ожидания. Code RAM может принести существенную пользу в задачах, где требуется максимально быстрое выполнение только небольших фрагментов кода, позволяя при этом использовать сравнительно медленное и дешевое 8-битное ПЗУ для хранения остальной части программы. Конечно, эту память можно использовать и для размещения данных или стека.

**Энергопотребление.** Общее потребление – не более 75 мА на частоте 16 МГц. Имеются режимы с пониженным энергопотреблением: IDLE (30 мА) и POWER DOWN (0.1 мА).

**Температурный диапазон и типы корпусов.** Существует четыре разновидности по температурному диапазону работы: 0...+70°C (коммерческий), -40...+85°C (расширенный), -40...+125°C (автомобильный и военный). Кроме того, микроконтроллеры могут быть подвергнуты динамической электротермотренировке. Используются корпуса PLCC-68, QFP-80, керамический LCC-68 и керамический PGA-68.



### 7.3.3. Описание периферийных устройств

#### Устройства ввода и вывода данных

Ввод и вывод данных, представленных многоразрядными двоичными кодами, осуществляется через параллельные порты. В микроконтроллерах семейства MCS-96 используются восьмиразрядные и четырехразрядные порты. При этом микроконтроллер может иметь от четырех до восьми портов (табл. 7.2).

Два восьмиразрядных порта (P3 и P4) предназначены для подключения внешней памяти. Использование этих портов для ввода и вывода данных возможно лишь при ее отсутствии. Отдельные выво-

Таблица 7.2. Характеристики портов ввода-вывода

| Тип линии порта  | Количество линий порта |    |    |         |      | Всего |
|------------------|------------------------|----|----|---------|------|-------|
|                  | P0                     | P1 | P2 | P3 и P4 | HSIO |       |
| Двухнаправленная | –                      | 8  | 2  | 16/0    | 2    | 28/12 |
| Только вход      | 8                      | –  | 4  | –       | 2    | 14    |
| Только выход     | –                      | –  | 2  | –       | 4    | 6     |
| Итого:           | 8                      | 8  | 8  | 16/0    | 8    | 48/32 |

**Примечание.** Порты 3/4 заняты, если используется внешняя шина.

ды параллельных портов могут выполнять альтернативные функции (прием запросов прерывания, вывод сигналов управления и др.). Для перевода выводов портов в режим альтернативных функций необходимо загрузить определенное управляющее слово в соответствующий регистр специальных функций.

#### Устройство ввода и вывода дискретных сигналов

Дискретные сигналы (включено-выключено) широко используются в системах управления. Изменение значения дискретного сигнала называется событием.

В микроконтроллерах семейства MCS-96 для обработки входных и формирования выходных событий используются специальные периферийные устройства, осуществляющие быстрый ввод и быстрый вывод без непосредственного участия процессора.

Быстрый ввод заключается в обнаружении события определенного типа на определенном входе микроконтроллера и запоминании времени его наступления в заданной системе отсчета времени. Быстрый

вывод заключается в формировании события определенного типа на заданном выходе микроконтроллера в заданный момент времени.

Для выполнения операций быстрого ввода и вывода в микроконтроллерах разных типов используется или блок быстрого ввода-вывода (HSIO), или блок процессоров событий (EPA).

В обоих блоках для формирования текущего значения времени используются шестнадцатиразрядные таймеры-счетчики, на счетные входы которых подаются сигналы времени от внутреннего генератора или от внешнего источника.

В блоке быстрого ввода-вывода (HSIO) для обработки входных событий и формирования выходных событий используются специализированные модули для ввода и для вывода, а в блоке процессоров событий (EPA) содержится набор универсальных модулей, каждый из которых при программировании настраивается на работу или в режиме быстрого ввода (capture-захвата), или в режиме быстрого вывода (compare-сравнения).

По результатам обработки входных событий могут вычисляться параметры импульсных последовательностей на входах микроконтроллера – период следования импульсов, их длительность, сдвиг во времени между импульсами на разных входах и другие параметры.

Блоки HSIO и EPA кроме операций быстрого ввода и вывода могут использоваться для формирования временных задержек (режим программного таймера), формирования сигналов специальной формы (например, сигнала с широтно-импульсной модуляцией), запуска аналого-цифрового преобразователя и выполнения некоторых других функций.

#### Устройства ввода и вывода аналоговых сигналов

У микроконтроллеров большинства типов в число периферийных устройств входит многоканальный аналого-цифровой преобразователь (ADC). Число каналов может быть равно 4, 6, 8, 13 или 14. Входное напряжение в канале может изменяться в пределах от 0 до 5 (5.12) В. В результате преобразования формируется восьмиразрядный или десятиразрядный двоичный код.

Запуск преобразования в канале может производиться по команде в программе или по сигналу из блока HSIO или EPA в заранее заданное время. Некоторые преобразователи могут работать в режиме сканирования входов.

На частоте 16 МГц время преобразования – 19.5 мкс. Имеется схема выборки/хранения, а также отдельные входы опорного напряжения и аналоговой земли.

Преобразование цифровых данных в аналоговый сигнал выполняется с использованием широтно-импульсного модулятора (PWM).

Широтно-импульсный модулятор формирует последовательность прямоугольных импульсов, следующих с постоянным периодом. Длительность импульса пропорциональна числу, преобразуемому в значение аналогового сигнала. Получаемая импульсная последовательность с выхода микроконтроллера с переменной скважностью подается на внешнюю интегрирующую схему, с выхода которой снимается аналоговый сигнал.

Диапазон изменения скважности импульсов – 256 градаций. Период импульсов может быть равен 256 или 512 тактам (31.25 или 15.625 кГц соответственно, для тактовой частоты 16 МГц).

В микроконтроллерах подсемейства МС кроме двух широтно-импульсных модуляторов имеется специальный блок, содержащий три широтно-импульсных модулятора, работающих совместно. Этот блок, называемый генератором периодических колебаний (WG), имеет три пары выходов. Разность напряжений на выходах одной пары представляет собой синусоидоподобный ступенчатый сигнал. Сигналы, снимаемые с трех пар выходов, могут быть использованы для питания трехфазных индукционных двигателей переменного тока. Блок позволяет также формировать сигналы для управления вентильными двигателями постоянного тока, шаговыми двигателями и для некоторых других целей.

### Устройства обмена данными с другими микроконтроллерами и центральным процессором

Обмен данными с другими микроконтроллерами в управляющей системе, содержащей несколько совместно работающих микроконтроллеров, может осуществляться по последовательному каналу или путем совместного использования внешней памяти.

Обмен данными по последовательному каналу выполняется с использованием последовательного порта (SP). Обмен производится путем отправки отдельных кадров, каждый из которых содержит стартовый бит, семь или восемь информационных битов и один стоповый бит. В состав кадра может быть включен дополнительный бит, который используется для контроля по четности правильности пересылки данных или для различения кадров, содержащих адреса абонентов, и кадров, содержащих данные, при включении контроллера в простейшую локальную сеть.

Последовательный порт может также осуществлять последовательный ввод или вывод байтов с использованием внешних сдвигающих регистров, которые в этом случае выполняют функции дополнительных параллельных портов ввода или вывода.

У микроконтроллеров некоторых типов в число периферийных устройств входит второй последовательный порт (SSIO), с помощью

которого осуществляется непосредственный обмен байтами между двумя микроконтроллерами путем последовательной передачи байта и сопровождающей серии импульсов сдвига. Порт SSIO содержит два последовательных канала, каждый из которых может работать в режиме передачи или в режиме приема. Максимальная скорость обмена (на частоте 16 МГц): в асинхронном режиме – 1 Мбод, в синхронном режиме – 4 Мбод.

Микроконтроллеры почти всех модификаций имеют аппаратные средства, обеспечивающие совместное использование внешней памяти несколькими микроконтроллерами. Согласование работы микроконтроллеров при обращении к внешней памяти реализуется с помощью сигналов HOLD, HLDA, BREQ и дополнительной внешней аппаратуры.

У микроконтроллеров некоторых типов имеется "подчиненный" порт (Slave Port), предназначенный для обмена данными с центральным процессором в иерархической управляющей системе. Через "подчиненный" порт микроконтроллер подключается непосредственно к системной магистрали микропроцессорной системы. Обмен данными происходит под управлением центрального процессора, который обращается к микроконтроллеру, как к собственному порту ввода и вывода. При появлении необходимости передать данные в центральный процессор микроконтроллер посылает запрос прерывания.

#### Устройства приема и обслуживания запросов прерывания

Запросы прерывания текущей программы могут поступать от внешних источников или формироваться внутри микроконтроллера в различных периферийных устройствах. Общее число источников запросов прерывания у микроконтроллеров разных типов может быть 21, 28 или 37.

Запросы прерывания могут маскироваться путем посылки кодов маски в соответствующие регистры специальных функций. В микроконтроллерах всех типов имеется программный контроллер прерываний (PIC). Обслуживание запроса прерывания с использованием PIC заключается в переходе от выполнения текущей программы к выполнению другой определенной программы, составленной разработчиком программного обеспечения.

Адрес первой команды каждой прерывающей программы (вектор прерывания) хранится в определенной паре ячеек ПЗУ в области памяти, отведенной для хранения специальных данных. После завершения выполнения прерывающей программы происходит возврат к прерванной программе.

Прерывающая программа в свою очередь может быть прервана при поступлении любого незамаскированного запроса прерывания

вне зависимости от соотношения приоритетов запроса, вызвавшего переход к данной программе, и нового запроса прерывания.

В микроконтроллерах некоторых типов кроме программного контроллера прерываний имеется микропрограммный контроллер прерываний (PTS). Любой запрос прерывания, кроме нескольких особых запросов, может быть направлен для обслуживания или в PIC, или в PTS.

Обслуживание запроса прерывания с использованием PTS заключается в выполнении типовой микропрограммы, при этом выполнение операций по микропрограмме совмещается во времени с выполнением команд текущей программы. Микропрограммы PTS охватывают в основном пересылки данных. Прерывания, обслуживаемые PTS, обрабатываются быстрее, чем те, которые обслуживаются обычным способом. Однако программировать PTS непросто, а отлаживать – еще сложнее.

### Устройства контроля правильности функционирования микроконтроллера

Все микроконтроллеры семейства MCS-96 имеют сторожевой таймер (WDT). Сторожевой таймер по прошествии определенного интервала времени переводит микроконтроллер в состояние сброса. Правильно работающая программа должна предотвращать сброс микроконтроллера от WDT путем периодического сброса в нулевое состояние самого WDT. При сбое в ходе программы сторожевой таймер своевременно не сбрасывается, и при его переполнении микроконтроллер переводится в состояние сброса, что предотвращает появление и развитие опасных ситуаций в системе управления.

Микроконтроллеры некоторых типов имеют схему обнаружения падения частоты генератора тактовых импульсов (OFD). При снижении частоты ниже определенного уровня OFD вырабатывает сигнал сброса и переводит микроконтроллер в состояние сброса. Это предотвращает появление опасных комбинаций сигналов на выходах микроконтроллера, которые могут возникнуть при остановке генератора тактовых импульсов в произвольный момент времени в процессе выполнения программы.

### Характеристики микроконтроллеров подсемейств

К числу основных функциональных характеристик микроконтроллера относятся:

– емкость расположенных на кристалле регистрового оперативного запоминающего устройства (RRAM), постоянного запоминающего устройства (ROM), оперативного запоминающего устройства (RAM);

- максимальная тактовая частота ( $F_{\max}$ );
- число команд в системе команд ( $N$ );
- состав периферийных устройств.

По значению тактовой частоты может быть определено быстродействие микроконтроллера. У микроконтроллеров подсемейства 8X9Y команды коротких операций выполняются за 12 периодов тактовой частоты. При тактовой частоте 12 МГц микроконтроллеры данного подсемейства имеют быстродействие 1 млн. коротких операций в секунду. У микроконтроллеров остальных подсемейств команды коротких операций выполняются за 8 периодов тактовой частоты, и при тактовой частоте 16 МГц обеспечивается быстродействие 2 млн. коротких операций в секунду.

При этом следует иметь в виду, что короткие операции в микроконтроллере семейства MCS-96 по своему содержанию существенно отличаются от коротких операций в микроконтроллере с регистром-аккумулятором. Так, например, одной короткой операции “сложение” в микроконтроллере семейства MCS-96 при представлении данных в формате “байт” соответствует последовательность из трех коротких операций в микроконтроллере семейства MCS51, а при представлении данных в формате “слово” соответствует последовательность из шести коротких операций.

Кроме того, в систему команд микроконтроллеров семейства MCS-96 входят команды умножения и деления чисел в формате “слово”. В микроконтроллерах других семейств такие операции выполняются по подпрограммам, что резко увеличивает время их выполнения.

Отмеченные особенности существенно сокращают время вычислений в микроконтроллерах семейства MCS-96 по сравнению с микроконтроллерами других семейств.

В систему команд микроконтроллеров, реализованных по КМОП технологии, входят различные дополнительные команды, в числе которых имеется команда перевода микроконтроллера в энергосберегающие режимы – режим холостого хода и режим пониженного энергопотребления. В режиме холостого хода программа не выполняется, но функционируют все периферийные устройства, при этом потребление энергии от источника питания уменьшается на 60%. В режиме пониженного энергопотребления прекращаются все процессы в микроконтроллере, но сохраняются данные в РОЗУ и ОЗУ. При этом ток потребления составляет единицы микроампер.

С появлением на рынке цифровых интегральных схем микроконтроллеров семейства MCS-96 фирмы Intel перед разработчиками систем, содержащих встроенные микроконтроллеры, открываются новые большие возможности по созданию высокосоввершенных, малогабаритных, экономичных и надежных систем, приборов и устройств различного назначения.

### 7.3.4. Преимущества микроконтроллеров MCS-96

Кристаллы 80C196 изготавливаются по более современной технологии (с меньшим размером элементов на кристалле), поэтому достигаются более высокие тактовые частоты. Так, кристалл 80C196NU имеет тактовую частоту 50 МГц, а наиболее быстродействующие из семейства 8051 – 24 МГц.

Все 232 внутренних регистра 80C196 имеют статус “аккумуляторов” – к ним можно непосредственно применять все необходимые арифметические и логические операции. У 8051 для достижения тех же результатов зачастую необходимо выполнять дополнительные пересылки в аккумулятор и из него.

У 80C196 можно использовать 16-разрядную внешнюю шину. Кроме того, цикл шины 80C196 в 3-4 раза короче, чем у 8051. В результате 80C196 в 6-8 раз быстрее работает с внешней памятью. Отметим, что для того, чтобы снизить стоимость изделий, можно вводить в шину циклы ожидания и сократить ее ширину до 8 битов, но даже в этом случае 80C196 будет иметь преимущество в 2–3 раза.

В задачах, требующих 16- и 32-разрядных вычислений, 80C196 примерно на порядок быстрее, поскольку имеет полноценный набор 16-разрядных арифметических инструкций.

Одним из самых эффективных способов сокращения времени разработки программ для микроконтроллеров является применение языка Си. Язык Си базируется на широком использовании стека и указателей. Однако для 8051 использование Си затруднено и ведет к большим накладным расходам, и вот почему. Поскольку 8051 имеет небольшой стек, Си-компиляторы для 8051 генерируют дополнительный код, эмулирующий большой стек во внешней памяти данных. Вдобавок 8051 имеет всего один 16-разрядный указатель – DPTR, и компиляторам также приходится генерировать дополнительный код, чтобы компенсировать этот недостаток. Все это приводит к замедлению программ и увеличению их размера. У 80C196 таких проблем нет – стек имеет размер до 64 КБайт, а в качестве указателя можно использовать любое из 116 слов встроенной регистровой памяти.

## 7.4. Микроконтроллеры фирмы Philips

Фирму Philips можно по праву назвать чемпионом по количеству выпускаемых ею модификаций семейства 8051 – их более 100. В состав семейства 8051 от Philips входят микроконтроллеры в корпусах от 24 до 80 выводов, с тактовыми частотами до 40 МГц и напряжением питания от 1.8 В. Во всех микроконтроллерах Philips используется стандартное ядро MCS51, поэтому все временные и функциональные

характеристики полностью соответствуют характеристикам микроконтроллеров фирмы Intel. Фирма Philips значительные усилия направила на интегрирование широкого спектра периферийных устройств на базе ядра 8051.

Основные элементы периферии Philips:

- АЦП с точностью преобразования 10 разрядов;
- широтно-импульсные модуляторы;
- массивы программируемых счетчиков-таймеров;
- интерфейсы I2C, CAN;
- интерфейсы с процессорными шинами;
- EEPROM и FLASH на кристалле;
- специализированная периферия для телевизионной, видео- и аудиотехники.

Подробная информация о всех модификациях микроконтроллеров фирмы Philips содержится на web-site фирмы Philips:

<http://www.philipsmcu.com>

С 1997 года фирма Philips переводит стандартные микроконтроллеры групп 80C51, 80C52/54/58 и 80C51FX на новую технологию, которую она сама так и назвала “Новая и улучшенная”.

Какие же новые возможности появились у хорошо известных кристаллов после модернизации?

- Максимальная тактовая частота кристаллов увеличена до 33 МГц;
- расширен диапазон напряжения питания от 2.7 до 5.5 В;
- количество аппаратных уровней прерываний увеличено до 4-х;
- во все кристаллы введена функция программируемого clock-out;
- UART заменен на улучшенный (enhanced);
- функция снижения электромагнитных помех (Lower EMI);
- добавлен второй регистр DPTR;
- потребление энергии для питания микроконтроллера снижено на 50%. В сочетании с 3-вольтовым питанием это может дать экономию до 75% по сравнению с предыдущими образцами; снижена цена на 30%.

Фактически такие новые возможности дают второе рождение старым кристаллам. Проблема для разработчика, однако, состоит в том, что маркировка микроконтроллеров после модернизации не изменилась, из-за чего возможна путаница между старыми и новыми модификациями.

Кроме того, фирма Philips выпустила группу микроконтроллеров, названную RX+. По сути, это дальнейшее развитие группы FX, в которой расширен объем внутреннего ОЗУ (512 байт, 1 Кбайт) и программной памяти (до 64 Кбайт). Группа RX+ обладает также всеми возможностями, предоставляемыми технологией.



С 1997 года фирма Philips держит курс на развитие Flash-технологии в производстве микроконтроллеров. Отчасти это вызвано высокими технологическими возможностями Philips, отчасти – успехами конкурентов, в первую очередь Atmel. Несмотря на то, что Flash-память дороже в производстве, чем EPROM, в конечном итоге для фирмы дешевле будет поддерживать единый технологический процесс.

### 7.5. Микроконтроллеры фирмы Analog Devices

Фирма Analog Devices выпускает широкую номенклатуру микроэлектронного оборудования, включая однокристальные микроконтроллеры. Отличительной особенностью новейшего семейства микросхем серии ADuC8xx является сам их принцип построения. Эти микросхемы не являются “микроконтроллером со встроенными АЦП-ЦАП”. Они представляют собой удачно скомбинированные АЦП и ЦАП со встроенным в них микроконтроллером и флэш-памятью. Поэтому их основным достоинством является высокая точность аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, удачно сочетаемая с возможностью непосредственной обработки получаемой информации. Иногда такие приборы называют микроконверторами, позиционируя их как отдельный класс микроконтроллеров со сверхвысокой степенью интеграции. Широкую известность получил микроконтроллер ADuC812, специфицируемый фирмой как 8-канальный прецизионный 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь со встроенным микропроцессором. Выпускаются также ADuC810 (10-разрядный АЦП, два 12-разрядных ЦАП, микроконтроллерное ядро с Flash РПП), ADuC816 (два 16-разрядных сигма-дельта АЦП, 12-разрядный ЦАП, микроконтроллер с Flash РПП), ADuC824, ADuC831 и ряд других микроконтроллеров (табл. 7.3).

Микроконтроллеры ADuC8xx выполнены в корпусах типа PQF52 или CSP56. Исключение составляет ADuC814, выполненный в корпусе типа TSSOP28. Начиная с модели ADuC831 все микроконтроллеры имеют 2 Кб статического ОЗУ (в дополнение к 256 байтам ядра 8052), а объем Flash РПП увеличен до 62 Кб. Некоторые типы микроконтроллеров (см. табл. 7.3) имеют скоростное ядро 8052 с машинным циклом, равным тактовому. Рассмотрим более детально некоторые модели ADuC8xx.

#### 7.5.1. Микроконтроллер ADuC812

Первой микросхемой семейства ADuC8xx, запущенной в серийное производство в мае 1999 года, является ADuC812. ADuC812 – интегральная 12-разрядная система сбора информации, включающая

Таблица 7.3. Микроконтроллеры фирмы Analog Devices с ядром 8052

| Тип     | АЦП           | ЦАП                            | РПП<br>Кб | РПД        |             | Дополнительно                             |
|---------|---------------|--------------------------------|-----------|------------|-------------|-------------------------------------------|
|         |               |                                |           | ЕЕ<br>байт | ОЗУ<br>байт |                                           |
| ADuC812 | 8/12          | 2/12                           | 8         | 640        | 256         | АЦП 5мкс.                                 |
| ADuC814 | 6/12          | 2/12                           | 8         | 640        | 256         | Миниатюрный;<br>дешевый; микро-<br>мощный |
| ADuC816 | 2/16          | 1/12                           | 8         | 640        | 256         | Программир. вх.<br>усилитель              |
| ADuC824 | 1/24<br>1/16  | 1/12                           | 8         | 640        | 256         | Обратная сов-<br>местимость с<br>ADuC816  |
| ADuC831 | 8/12          | 2/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC812                    |
| ADuC832 | 8/12          | 2/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC812, ФАПЧ              |
| ADuC834 | 1/24<br>1/16  | 1/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC824                    |
| ADuC836 | 2/16          | 1/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC816                    |
| ADuC841 | 8/12          | 2/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC812, СЯ52              |
| ADuC842 | 8/12          | 2/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC812, ФАПЧ,<br>СЯ52     |
| ADuC844 | 1/24<br>1/16  | 1/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC824, СЯ52              |
| ADuC845 | 10/24<br>1/24 | 1/12<br>2/16<br>2ШИМ<br>16 бит | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC824, СЯ52              |
| ADuC846 | 2/16          | 1/12<br>2ШИМ                   | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC816, СЯ52              |
| ADuC847 | 10/24         | 2/16<br>2ШИМ<br>16 бит         | 62        | 4К         | 256<br>+2К  | Модификация<br>ADuC816, СЯ52              |

**Примечание.** Для АЦП и ЦАП в числителе указано количество каналов, в знаменателе – разрядность; ЕЕ – EEPROM данных; СЯ52 – скоростное ядро 8052.

в себя прецизионный 8-канальный АЦП с самокалибровкой, два 12-разрядных ЦАП с выходом по напряжению, встроенный источник опорного напряжения, внутренний температурный сенсор и программируемое 8-битовое микропроцессорное ядро, совместимое с 8052 (рис. 7.1). Номинальная тактовая частота составляет 12 МГц, а максимальная – 16 МГц. Три 16-разрядных счетчика/таймера, 9 источников прерываний и 2 уровня приоритета. Микропроцессорное ядро поддерживается встроенной Flash РПП 8 Кбайт, 640 байт EEPROM РПД со страничной организацией, внутренний генератор подкачки заряда, 256 байт статической РПД с произвольной выборкой, 16 Мбайт пространства внешней памяти данных, контроллер прямого доступа к внешней памяти данных, 64 Кбайт пространства внешней памяти программ. Дополнительное встроенное оборудование: сторожевой таймер, монитор питания и канал прямого доступа к памяти для АЦП. Для мультипроцессорного обмена и расширения ввода-вывода имеется 32 программируемые линии ввода-вывода, порт с высоким током (Port 3), I<sup>2</sup>C-, SPI- и UART-интерфейсы. Для гибкого управления в приложениях с низким потреблением в микроконтроллере и аналоговой части предусмотрены 3 режима работы: нормальный, холостой и дежурный. Продукт специфицирован для +3/+5 В работы в промышленном диапазоне температур и поставляется в 52-выводном пластмассовом корпусе PQFP.

Микросхема состоит из двух основных частей – аналоговой и цифровой (см. рис. 7.1).

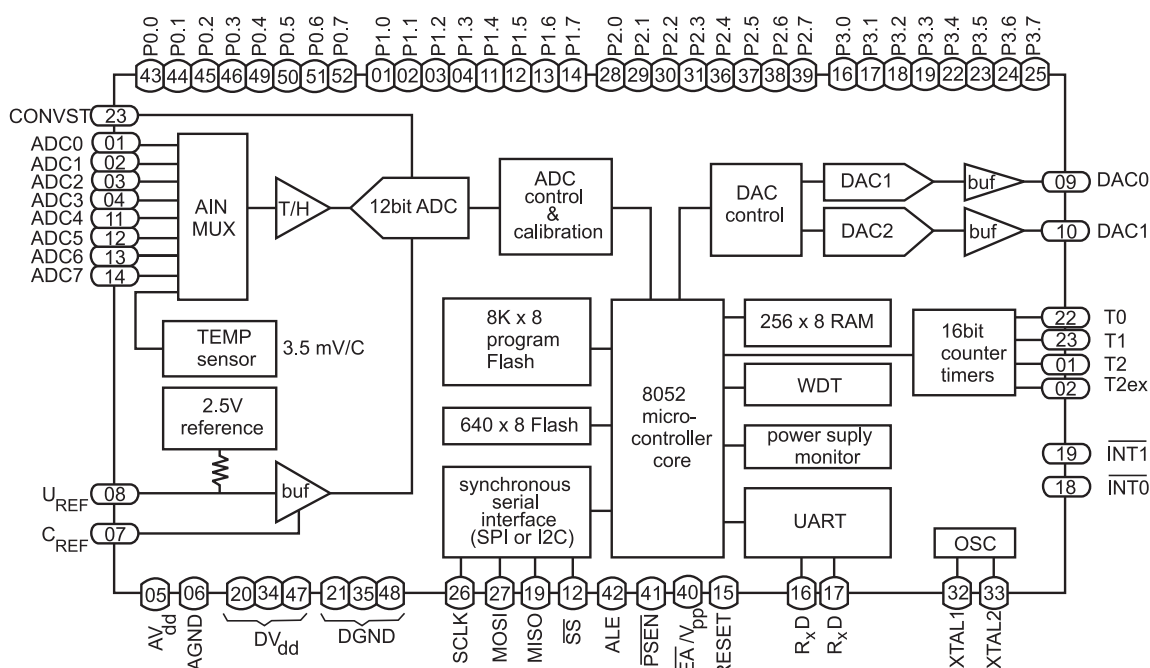


Рис. 7.1. Функциональная блок-схема микроконтроллера ADuC812

Аналоговые входы микросхемы соединены с 8-входовым мультиплексором. На выходе мультиплексора стоит усилитель выборки/хранения, фиксирующий значение аналогового сигнала на выбранном входе на время осуществления преобразования АЦП. Помимо него к аналоговой части микросхемы относятся также два 12-разрядных ЦАП с буферными усилителями на выходе каждого из них. Источник опорного напряжения может использоваться либо внутренний, который имеет напряжение 2.5 В и температурную стабильность 40 ppm/°C, либо внешний, напряжение которого не превышает уровень источника питания. Также к входному мультиплексору подключен внутренний датчик температуры, позволяющий оперативно измерять температуру кристалла (а значит, с определенными поправками, и температуру окружающей среды) или, к примеру, осуществлять компенсацию температуры холодного спая термопар, подсоединенных к одному или нескольким входам микросхемы. На аналоговые входы допустима подача сигналов в диапазоне от 0 до  $V_{ref}$ .

Интерфейсом между аналоговой и цифровой частями микросхемы служат регистры управления и калибровки. Цифровая часть состоит из собственно ядра микроконтроллера, полностью совместимого по системе команд с наиболее широко распространенными в мире микроконтроллерами серии 8051, блока памяти и набора дополнительных периферийных устройств. Микросхема ADuC812 может питаться от источника напряжением 3 или 5 В и имеет несколько экономичных режимов работы.

АЦП последовательных приближений может работать как в режиме единичных, так и непрерывных преобразований с максимальной скоростью 200 тысяч преобразований в секунду (одно преобразование каждые 5 мкс). Для запоминания результатов преобразования используется либо режим прерываний (как правило, его удобно использовать при невысокой частоте работы АЦП), либо режим прямого доступа, не влияющий на работу собственно контроллера и позволяющий сохранять результаты преобразования во внешнем ОЗУ с адресуемым пространством 16 Мбайт. АЦП имеет очень хорошую точность (соотношение сигнал/шум 70 дБ, что соответствует реальному разрешению на уровне 11.5 разрядов), и высокую линейность (типовая интегральная нелинейность на уровне  $\pm 1/2$  МЗР). Микросхема выпускается с заводской калибровкой под оптимальную производительность. При каждом включении источника питания микросхемы эти коэффициенты записываются в соответствующие регистры.

В большинстве приложений этих коэффициентов достаточно для хорошей работы системы, однако пользователь в процессе работы может перезаписать их для избавления от дополнительных системных ошибок. Все режимы работы АЦП определяются тремя регистрами

управления, находящимися во внутренней памяти микроконтроллера. Результаты преобразования могут быть считаны из двух регистров, один из которых показывает номер канала мультиплексора и старшие 4 бита результата, а второй — младшие 8 бит результата.

Что касается ЦАП, они управляются одним регистром управления и четырьмя регистрами данных. Обновление информации на выходе ЦАПов может происходить отдельно для каждого из них либо одновременно. Кроме того, каждый из них может быть сконфигурирован для работы либо в 12-разрядном, либо 8-разрядном режиме.

Микроконтроллер представляет собой “стандартное” ядро 8052 с максимальной рабочей частотой 16 МГц (12 МГц — типовая), тремя байтовыми портами ввода-вывода, один из которых, порт 3, обладает повышенной нагрузочной способностью, тремя 16-разрядными таймерами/счетчиками и расширенной периферией, которая будет описана ниже.

Блок памяти состоит из флэш-памяти программ объемом 8 Кбайт, флэш-памяти данных объемом 640 байт и ОЗУ объемом 256 байт. Информация во внутреннюю флэш-память программ может быть записана как с любого внешнего программатора в параллельном режиме через порты микроконтроллера, так и непосредственно в системе в последовательном режиме через асинхронный последовательный порт.

### Дополнительные периферийные устройства

К блоку расширенной периферии можно отнести дополнительные аппаратные возможности микросхемы, отсутствующие в оригинальной архитектуре 8051. Это дополнительные последовательные порты, дающие микросхеме возможность работать в ставших стандартными 2-проводных и 3-проводных синхронных протоколах SPI и I<sup>2</sup>C. Также микросхема дополнена двумя мониторами: один следит за отсутствием «зависания» микроконтроллера и в случае обнаружения вырабатывает сигнал сброса в начальное состояние, а второй следит за тем, чтобы напряжение источника питания не падало ниже определенного задаваемого пользователем значения (от 2.6 до 4.6 В). Он позволяет в случае, близком к потере питания, сохранить содержимое внутренних регистров, запомнить свое состояние и возобновить работу только после восстановления питания.

**Таймер-счетчик T/C2.** Микропроцессорное ядро i8052 содержит третий (дополнительный) 16-разрядный таймер-счетчик T/C2, отсутствующий в оригинальной архитектуре 8051. Данный таймер-счетчик предназначен для работы в одном из трех режимов: перезагружаемый аппаратно 16-разрядный счетчик-таймер, 16-разрядный модуль

входного захвата, программируемый генератор импульсов для тактирования контроллера последовательного порта. Для обслуживания T/C2 предназначены пять 8-разрядных регистров (табл. 7.4) и два бита порта P1, наделенных альтернативными функциями:

**P1.0** – внешний вход T2 счетчика таймера T/C2;

**P1.1** – вход T2EX триггера захвата/перезагрузки.

Таблица 7.4. Регистры таймера-счетчика T/C2 микроконтроллера ADuC812

| Параметр           | Название регистра |     |     |        |        |
|--------------------|-------------------|-----|-----|--------|--------|
|                    | T2CON             | TH2 | TL2 | RCAP2H | RCAP2L |
| Адрес              | C8H               | CDH | CCH | CBH    | CAH    |
| Исходное состояние | 00H               | 00H | 00H | 00H    | 00H    |

Управляющий регистр T2CON служит для программного управления счетчиком/таймером T/C2. Регистр T2CON поддерживает адресацию отдельных битов. Спецификация битов регистра T2CON приведена в табл. 7.6. TH2 и TL2 – старший и младший байты регистра данных T/C2. RCAP2H и RCAP2L – старший и младший байты регистра перезагрузки/ захвата. Программирование режима работы T/C2 производится в соответствии с табл. 7.5.

Таблица 7.5. Выбор режима работы таймера-счетчика T/C2

| TCLK (RCLK) | CAP2 | TR2 | Режим работы                         |
|-------------|------|-----|--------------------------------------|
| 0           | 0    | 1   | 16-разрядная аппаратная перезагрузка |
| 0           | 1    | 1   | 16-разрядный модуль входного захвата |
| 1           | x    | 1   | Тактовый генератор UART              |
| x           | x    | 0   | Таймер-счетчик отключен              |

В режиме 16-разрядной аппаратной перезагрузки (рис. 7.2) возможны два варианта перезагрузки, определяемые битом EXEN2 регистра T2CON. В случае EXEN2 = 0 при переполнении таймера-счетчика T/C2 устанавливается флаг переполнения TF2 и происходит загрузка в регистры данных T2H и T2L содержимого регистров RCAP2H и RCAP2L соответственно. В случае EXEN2 = 1 при переполнении происходит все то же самое, но, кроме того, перезагрузка может быть вызвана спадом уровня на внешнем входе T2EX.

В режиме 16-разрядного входного захвата (рис. 7.3) также возможны два варианта захвата. В случае EXEN2 = 0 при переполнении таймера-счетчика T/C2 устанавливается флаг переполнения TF2. При

Таблица 7.6. Регистр управления/статуса таймера T2CON

| Бит   | Позиция | Имя и назначение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TF2   | T2CON.7 | Флаг переполнения T/C2. Устанавливается аппаратно. Сброс программный. При RCLK = 1 или TCLK = 1 флаг TF2 не устанавливается                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| EXF2  | T2CON.6 | Внешний флаг T/C2. Устанавливается аппаратно при захвате или перезагрузке по спаду уровня на T2EX при EXEN2 = 1. Сброс программный                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| RCLK  | T2CON.5 | При установленном бите приемник последовательного порта в режимах 1 и 3 будет тактироваться импульсами переполнения T/C2. Устанавливается и сбрасывается программно                                                                                                                                                                                                                                 |
| TCLK  | T2CON.4 | При установленном бите передатчик последовательного порта в режимах 1 и 3 будет тактироваться импульсами переполнения T/C2. Устанавливается и сбрасывается программно                                                                                                                                                                                                                               |
| EXEN2 | T2CON.3 | При установленном бите разрешен захват или перезагрузка по спаду уровня на T2EX, если T/C2 не используется в этот момент для тактирования последовательного порта. Устанавливается и сбрасывается программно                                                                                                                                                                                        |
| TR2   | T2CON.2 | Бит управления пуском/остановом T/C2. Устанавливается (пуск) и сбрасывается (останов) программно                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| CNT2  | T2CON.1 | Выбор функции таймера или счетчика событий на ножке T2. Устанавливается (счетчик) и сбрасывается (таймер) программно                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| CAP2  | T2CON.0 | Выбор функции захвата или перезагрузки. Устанавливается программно для разрешения захвата по отрицательному переходу на T2EX при EXEN2 = 1. Сбрасывается программно для разрешения автоперезагрузки таймера 2 по его переполнению или отрицательному перепаду на T2EX при EXEN2 = 1. Если RCLK = 1 или TCLK = 1, то этот бит игнорируется и таймер 2 принудительно перезагружается при переполнении |

EXEN2 = 1, вдобавок к этому возможен захват текущего состояния таймера спадом уровня на внешнем входе T2EX. При захвате содержимое регистров данных T2H и T2L копируется в регистры RCAP2H и RCAP2L соответственно. Кроме того, при захвате происходит уста-

новка флага EXF2, который можно использовать для организации прерывания по событию захвата.

В режиме программируемого генератора импульсов для тактирования последовательного порта (рис. 7.4) при переполнении T/C2 флаг TF2 не устанавливается и, следовательно, прерывания по переполнению не происходят. В этой связи в данном режиме нет необходимости запрещать прерывания от T/C2. В то же время установка флага EXF2 будет вызывать прерывание, поэтому вход T2EX в этом режиме может быть использован как третий вход запросов внешнего прерывания. Скорость приема/передачи рассчитывается по формуле

$$f = f_T / (32 \times (65536 - \text{RCAP2})), \quad (7.1)$$

где  $f_T$  – тактовая частота микроконтроллера. В табл. 7.7 приведены рассчитанные значения скорости приема/передачи  $f$ , ближайшие к стандартным значениям  $f_{ST}$ .

Таблица 7.7. Скорости приема/передачи UART при тактировании от T/C2

| $f_{ST}$ ,<br>бод | $f_T$ ,<br>МГц | RCAP2H | RCAP2L | $f$ ,<br>бод |
|-------------------|----------------|--------|--------|--------------|
| 19200             | 12             | FFH    | ECH    | 19661        |
| 9600              | 12             | FFH    | D7H    | 9591         |
| 2400              | 12             | FFH    | 5CH    | 2398         |
| 1200              | 12             | FEH    | B8H    | 1199         |
| 19200             | 11.0592        | FFH    | EEH    | 19200        |
| 9600              | 11.0592        | FFH    | DCH    | 9600         |
| 2400              | 11.0592        | FFH    | 70H    | 2400         |
| 1200              | 11.0592        | FFH    | E0H    | 1200         |

**Контроллер векторных прерываний.** Встроенный контроллер приоритетных векторных прерываний рассчитан на 9 источников прерываний (табл. 7.8) и 2 уровня приоритета. Для обслуживания системы прерываний предназначены три специальных регистра: два регистра прерываний (IE и IE2) и регистр приоритетов (IP). Спецификация битов этих регистров приведена в табл. 7.9 и 7.10. В регистрах IE и IP полностью сохранена структура и специфика битов, используемых в архитектуре i8051. Новые управляющие биты (EADC, ET2, PSI, PADC, PT2) размещены в позициях, которые не были заняты в оригинальной архитектуре i8051. В отношении этих регистров достигнута полная совместимость снизу вверх. Новый регистр IE2 с адресом A9H содержит только две маски прерываний, относящиеся к контроллеру



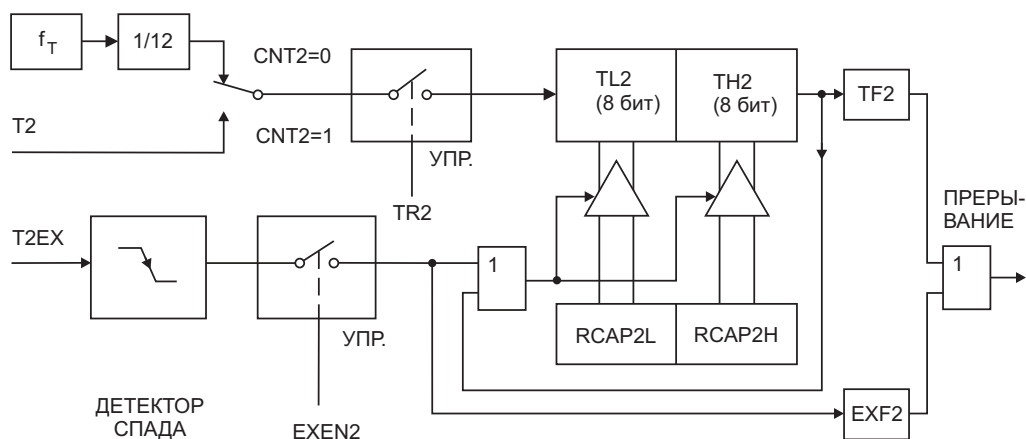


Рис. 7.2. Режим 16-разрядной аппаратной перезагрузки T/C2

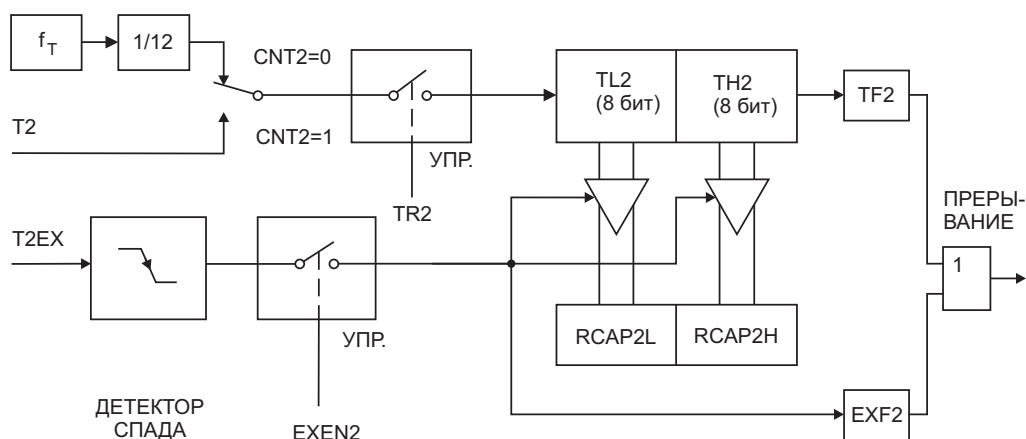


Рис. 7.3. Режим 16-разрядного модуля входного захвата T/C2

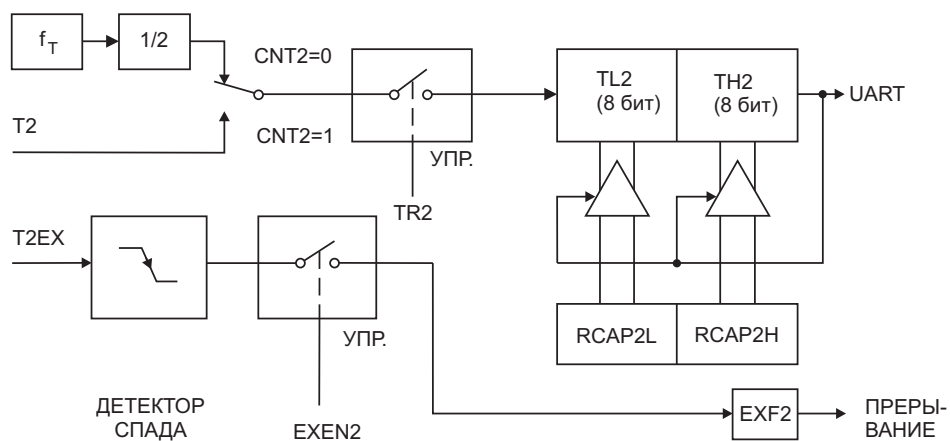


Рис. 7.4. Режим генератора импульсов тактирования UART

I2C/SPI и монитору питания. Остальные биты регистра E2 не используются. Биты всех трех регистров устанавливаются и сбрасываются программно. Регистры IE и IE2 допускают также адресацию отдельных битов. При включении питания все три регистра имеют нулевое

Таблица 7.8. Система прерываний микроконтроллера ADuC812

| Источник    | Вектор | Приоритет | Назначение               |
|-------------|--------|-----------|--------------------------|
| INT0        | 03H    | 2         | Внешнее прерывание 0     |
| TF0         | 0BH    | 4         | Переполнение T/C0        |
| INT1        | 13H    | 5         | Внешнее прерывание 1     |
| TF1         | 1BH    | 6         | Переполнение T/C1        |
| RI + TI     | 23H    | 8         | Контроллер UART          |
| TF2 + EXF2  | 2BH    | 9         | Переполнение/захват T/C2 |
| ADCI        | 33H    | 3         | Конец преобразования АЦП |
| I2CI + ISPI | 3BH    | 7         | Контроллеры I2C/SPI      |
| PSMI        | 43H    | 1         | Монитор питания          |

Таблица 7.9. Регистр масок прерывания IE и IE2

| Символ | Позиция | Назначение                                                                                                               |
|--------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EA     | IE.7    | Снятие блокировки всех прерываний. Сбрасывается программно для запрета всех прерываний независимо от состояний IE6 – IE0 |
| EADC   | IE.6    | Бит разрешения прерывания от АЦП                                                                                         |
| ET2    | IE.5    | Бит разрешения прерывания от таймера T/C2                                                                                |
| ES     | IE.4    | Бит разрешения прерывания от УАПП                                                                                        |
| ET1    | IE.3    | Бит разрешения прерывания от таймера T/C1                                                                                |
| EX1    | IE.2    | Бит разрешения внешнего прерывания INT1                                                                                  |
| ET0    | IE.1    | Бит разрешения прерывания от таймера T/C0                                                                                |
| EX0    | IE.0    | Бит разрешения внешнего прерывания INT0                                                                                  |
| EPSMI  | IE2.1   | Бит разрешения прерывания от монитора источника питания                                                                  |
| ESI    | IE2.0   | Бит разрешения прерывания от I2C/SPI                                                                                     |

Таблица 7.10. Регистр приоритетов прерываний IP

| Символ | Позиция | Назначение                              |
|--------|---------|-----------------------------------------|
| PSI    | IP.7    | Бит приоритета контроллера I2C/SPI      |
| PADC   | IP.6    | Бит приоритета АЦП                      |
| PT2    | IP.5    | Бит приоритета таймера T/C2             |
| PS     | IP.4    | Бит приоритета УАПП                     |
| PT1    | IP.3    | Бит приоритета таймера T/C1             |
| PX1    | IP.2    | Бит приоритета внешнего прерывания INT1 |
| PT0    | IP.1    | Бит приоритета таймера T/C0             |
| PX0    | IP.0    | Бит приоритета внешнего прерывания INT0 |

содержимое. В ADuC812 сохранена технология управления приоритетами запросов, используемая в i8051. Для любого источника прерываний  $x$ , перечисленного в табл. 7.10, можно назначить высший приоритет ( $IP.x = 1$ ) или низший приоритет ( $IP.x = 0$ ). Сначала производят опрос в группе высшего приоритета, потом – в группе низшего приоритета. Порядок опроса в каждой группе соответствует табл. 7.8: от меньших численных значений приоритета – к большим значениям. Монитор источника питания имеет всегда высший приоритет.

**Сторожевой таймер.** Назначение сторожевого таймера (Watch Dog Timer, WDT) – инициировать аппаратный сброс микроконтроллера при появлении ошибок в его работе. WDT представляет из себя 16-разрядный таймер, для управления работой которого предназначен бит-адресуемый регистр WDCON (C0H). Сторожевой таймер может быть выключен очисткой бита WDE. При  $WDE = 1$  сторожевой таймер включен. Если прикладная программа не установит биты обновления (WDR1, WDR2) в течение предустановленного интервала времени, то будет установлен бит состояния  $WDS = 1$  и инициирован аппаратный сброс. При WDT-сбросе бит состояния WDS не очищается. Предустановленный интервал задается трехбитным числом  $n$ , размещенным в позициях ( $PRE_2PRE_1PRE_0$ ). Величина интервала  $t$  в миллисекундах вычисляется по формуле

$$t = 2^{(n+4)}. \quad (7.2)$$

Рассмотрим пример. Пусть предустановленный интервал будет 2.048 с.

|                  |                  |                  |   |                  |                  |     |     |
|------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|-----|-----|
| 7                | 6                | 5                | 4 | 3                | 2                | 1   | 0   |
| PRE <sub>2</sub> | PRE <sub>1</sub> | PRE <sub>0</sub> | – | WDR <sub>1</sub> | WDR <sub>2</sub> | WDS | WDE |

```
MOV WDCON, #0E0H ; Установка t = 2.048 с
SETB WDE ; Запуск WDT
```

Не позднее чем через 2.048 с после запуска WDT необходимо установить биты обновления, иначе будет инициирован аппаратный сброс микроконтроллера.

```
SETB WDR1 ; Установка бита WDR1
SETB WDR2 ; Установка бита WDR2
```

Биты обновления необходимо устанавливать только в такой последовательности.

Для отладки и апробации компания Analog Devices выпустила средство отладки QuickStart, которое содержит:

- отладочную плату;
- кабель подключения к Com-порту персонального компьютера и блок питания;
- две микросхемы ADuC812;
- компакт-диск (CD-ROM), содержащий следующее программное обеспечение:
  - кросс-ассемблер ASM51 для MCS51;
  - программный симулятор ADSIM812 для ADuC812, работающий под управлением Windows;
  - отладчик DEBUG812 для ADuC812;
  - загрузчик DLOAD812 для ADuC812, работающий по последовательному каналу;
  - полный комплект документации для ADuC812 в pdf-формате.

Основные области применения: интеллектуальные сенсоры (IEEE 1451.2), батарейные системы (портативные PC, инструмент, мониторы), системы слежения, системы сбора информации и средства коммуникации.

### 7.5.2. Микроконтроллер ADuC824

ADuC824 — микросхема, которая применяется в промышленных интеллектуальных датчиках. Для краткости остановимся на отличительных чертах и характеристиках данной микросхемы. В аналоговой части вместо 8-канального 12-разрядного АЦП последовательных приближений применены два сигма-дельта АЦП. Один из них (основной канал) имеет реальное разрешение более 19 разрядов при входном сигнале  $\pm 2.56$  В и снабжен программируемым усилителем, позволяющим получить реальное 13-разрядное разрешение при входном сигнале  $\pm 20$  мВ. Дополнительный канал характеризуется 16-разрядным разрешением. Кроме того, на кристалле имеется два согласованных (с разбросом не хуже 0.1 %) стабильных источника тока величиной 200 мкА, которые могут служить для питания внешних датчиков.

Блок ЦАП состоит из одного прецизионного 12-разрядного ЦАП с выходом по напряжению, который может работать либо в 8-разрядном, либо в 12-разрядном режиме с диапазоном выходных сигналов от 0 до 2.5 В (при использовании внутреннего источника опорного напряжения), либо от 0 до напряжения источника питания на нагрузку до 10 кОм/100 пФ.

Еще одной отличительной особенностью данной микросхемы является ее малое энергопотребление (всего 3 мА при питании от 3-вольтового источника), что дает возможность ее реального использования в

индустриальных приложениях с питанием от токовой петли. Это стало возможным за счет применения специального тактового генератора, позволяющего “завести” микросхему от стандартного резонатора с частотой 32768 кГц.

Остальные узлы ADuC824 и комплект инструментальных средств имеют практически ту же структуру и функции, что и у ADuC812.

### 7.5.3. Микроконтроллер ADuC842

Микроконвертор ADuC842 – полностью интегрированная 12-битная однокристалльная система сбора данных с высокоскоростным ядром 8052 (машинный цикл равен тактовому циклу), являющаяся развитием системы ADuC832. Как и другие приборы этого семейства, ADuC842 имеет высокоточные АЦП, ЦАП и перепрограммируемый микроконтроллер. Прибор выпускается в 52-выводном PQFP-корпусе или 56-выводном CSP-корпусе ( $8 \times 8$  мм<sup>2</sup>) и имеет напряжение питания 3 В или 5 В.

Отличительные особенности микроконтроллера ADuC842:

- 8-канальный 12-битный АЦП (400 тыс. преобразований в секунду) с самокалибровкой;
- два 12-битных ЦАП с потенциальными выходами и динамическим диапазоном, равным напряжению питания;
- два выхода ШИМ/ 16-битного сигма-дельта АЦП;
- скоростное ядро промышленного стандарта 8052 с машинным циклом, равным тактовому, и производительностью 16.7 MSPS;
- 62 Кб FLASH памяти программы;
- 4 Кб FLASH памяти данных;
- 2 Кб статического ОЗУ (в дополнение к 256 байтам ядра 8052);
- задающий генератор со схемой фазовой автоподстройки частоты и программируемой частотой, работающий с 32 кГц кварцевым резонатором;
- температурный датчик;
- прецизионный источник опорного напряжения (ИОН) (20 ppm/°C), последовательные интерфейсы (UART, I2C и SPI), сторожевой таймер, таймер измерения длительности, монитор напряжения питания, схема сброса по включению питания (POR) и т.д.;
- встроенная система загрузки, отладки и эмуляции;
- совместимость по выводам с прибором ADuC832.

Основные области применения: управление питанием лазера в оптических системах связи, управление смещением усилителя в базовых станциях, прецизионный инструмент, интеллектуальные датчики, системы съема информации, сбора информации и связи.

## **8. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ**

Разработка и отладка программного обеспечения для однокристалльных микроконтроллеров имеют определенную специфику. Во-первых, резидентные ресурсы микроконтроллера (объема памяти, быстродействие), как правило, сравнительно невелики и их совершенно недостаточно для размещения и функционирования даже простейших сервисных программ (редактор текста, транслятор и отладочный монитор), необходимых для написания и отладки программы. Во-вторых, некоторые архитектурные особенности (раздельные области памяти для хранения программ и данных, устройства защиты памяти программ) микроконтроллеров затрудняют или делают просто невозможным редактирование (написание, отладку) программ непосредственно в микроконтроллере. Это обуславливает необходимость применения специальных инструментальных средств для разработки и отладки программ.

В случае построения средств разработки и отладки на базе универсального компьютера становится возможным существенно облегчить разработку программ: использовать языки высокого уровня (Си, Паскаль), построить дружелюбный интерфейс, использовать принципы объектного и визуального программирования и т.д. Рассмотрим различные варианты построения инструментальных средств разработки и отладки.

К числу основных инструментальных средств отладки относятся внутрисхемные эмуляторы, программные симуляторы, платы развития, мониторы отладки, эмуляторы ПЗУ и некоторые другие средства. Данный список далеко не исчерпывает всех типов существующих инструментальных средств отладки. Кроме указанных, существуют и комбинированные устройства и наборы, которые позволяют компенсировать недостатки основных средств, взятых порознь.

### **8.1. Инструментальные средства отладки**

#### **8.1.1. Внутрисхемный эмулятор**

*Внутрисхемный эмулятор* – программно аппаратное средство, способное замещать собой эмулируемый (моделируемый) процессор в реальной схеме. Внутрисхемный эмулятор – это наиболее мощное и универсальное отладочное средство.

По сути дела, *хороший* внутрисхемный эмулятор делает процесс функционирования отлаживаемого контроллера прозрачным, т.е. легко контролируемым, произвольно управляемым и модифицируемым по воле разработчика.

### Особенности внутрисхемных эмуляторов

Обычно стыковка внутрисхемного эмулятора с отлаживаемой системой производится при помощи эмуляционного кабеля со специальной эмуляционной головкой. Эмуляционная головка вставляется вместо микроконтроллера в отлаживаемую систему. Если микроконтроллер невозможно удалить из отлаживаемой системы, то использование эмулятора возможно, только если этот микроконтроллер имеет отладочный режим, при котором все его выходы находятся в третьем состоянии. В этом случае для подключения эмулятора используют специальный адаптер-клипсу, который подключается непосредственно к выводам эмулируемого микроконтроллера.

Функционально внутрисхемные эмуляторы делятся на стыкуемые с внешним компьютером (обычно это бывает IBM PC) и функционирующие автономно.

Автономные внутрисхемные эмуляторы имеют индивидуальные вычислительные ресурсы, средства ввода-вывода, не требуют для своей нормальной работы стыковки с какими-либо внешними вычислительными средствами, но за это пользователю приходится расплачиваться либо существенно более высокой ценой, либо пониженными функциональными и сервисными возможностями по сравнению с аналогичными моделями, стыкуемыми с IBM PC.

Набор функциональных возможностей, которые предоставляют разработчику внутрисхемные эмуляторы, весьма широк и включает в себя практически все разнообразие функциональных модулей средств разработок.

Наличие в программной оболочке эмулятора встроенного редактора, встроенного менеджера проектов и системы управления может существенно облегчить работу разработчика. В этом случае стирается грань между написанием программы, ее редактированием и отладкой. Переход от редактирования исходного текста к отладке – началу работы собственно эмулятора – и обратно происходит *прозрачно* и синхронно с активизацией соответствующих окон, менеджер проектов автоматически запускает компиляцию по мере необходимости и активизирует соответствующие окна программного интерфейса.

При работе внутрисхемного эмулятора в составе интегрированной среды столь же просто можно осуществить и переход к отладке проекта с помощью имеющегося отладчика-симулятора или приступить к занесению в ПЗУ микроконтроллера отлаженной программы.

Некоторые модели внутрисхемных эмуляторов могут предоставлять пользователям и другие дополнительные возможности. Среди них отметим одну, хотя и достаточно специфическую, но в ряде случаев имеющую принципиальное значение: возможность построения многоэмуляторных комплексов, необходимых для отладки мультипроцессорных систем. Отличительной особенностью такого комплекса является возможность синхронного управления (с одного компьютера) несколькими эмуляторами.

К достоинствам внутрисхемных эмуляторов следует отнести:

- широкий набор функциональных возможностей, что делает внутрисхемные эмуляторы наиболее мощным и универсальным средством отладки;
- работу внутрисхемного эмулятора в реальной схеме электронного блока, в котором предполагается работа микроконтроллера;
- большая гибкость моделирования временных и электрических характеристик микроконтроллера, что связано с преимущественно программным методом их моделирования.

Однако внутрисхемные эмуляторы имеют и недостатки. Основным из них является трудность программного моделирования электрических сигналов на выводах микроконтроллера в реальном масштабе времени. Для адекватного моделирования быстродействие моделирующего процессора или компьютера должно быть существенно выше, чем эмулируемого микроконтроллера, что достижимо далеко не всегда, особенно в случае эмуляции современных высокопроизводительных микроконтроллеров.

Кроме того, даже в случае работы в замедленном масштабе времени различные модели внутрисхемных эмуляторов могут иметь разного рода ограничения по контролю и управлению функционированием отлаживаемых устройств, что связано с трудностью их моделирования. Например, это может быть некорректная обработка прерываний в пошаговом режиме или запрет на использование последовательного порта и т.п.

Возможности *реального* внутрисхемного эмулятора проиллюстрируем на примере модели PICE-51.

### Внутрисхемный эмулятор PICE-51

PICE-51 (Phyton Inc.) – это внутрисхемный эмулятор 8-разрядных микроконтроллеров семейства 8051. Он аннотируется как эмулятор нового поколения, созданный с применением новых технологий разработки аппаратуры и программного обеспечения.

Применение программируемых матриц (ПЛИС) большой емкости позволило резко сократить размеры эмулятора без какого-либо ущер-



ба его функциональным возможностям, минимизировать отклонения электрических и частотных характеристик эмулятора от характеристик эмулируемого процессора и тем самым добиться максимальной точности эмуляции на частотах до 30 МГц при напряжениях питания от 3.3 до 5 В.

Перезагружаемая аппаратная структура эмулятора обеспечивает эмуляцию практически всех микроконтроллеров семейства 8051 как отечественного производства, так и фирм Intel, Philips, Siemens, Atmel, Dallas, Temic, OKI, AMD, MHS и др.

Мощный программный интерфейс в среде Windows представляет собой интегрированную среду разработки, поддерживающую все этапы разработки программного обеспечения (от написания исходного текста программы до ее компиляции и отладки). Программа поддержки эмулятора ориентирована на отладку программ на языке высокого уровня по исходному тексту.

Эмулятор состоит из основной платы размером  $80 \times 76$  мм<sup>2</sup>, сменного адаптера под конкретный процессор и сменной эмуляционной головки под конкретный тип корпуса. На основной плате реализованы трассировщик и процессор точек останова. Плата сменного адаптера содержит эмулирующий процессор под конкретный тип микроконтроллера. Эмуляционные головки обеспечивают установку эмулятора в колодки DIP и PLCC на плате пользователя. Питание эмулятора осуществляется от блока питания +5 В, 0.5 А или непосредственно от отлаживаемого устройства. Связь с компьютером – по гальванически развязанному каналу RS-232C на скорости 115 Кбод.

Характеристики аппаратной части эмулятора:

- точная эмуляция – отсутствие каких-либо ограничений на использование программой пользователя ресурсов микроконтроллера;
- до 256 Кбайт эмулируемой памяти программ и данных. Поддержка банкированной модели памяти. Распределение памяти между эмулятором и устройством пользователя с точностью до одного байта;
- до 512 Кбайт аппаратных точек останова по доступу к памяти программ и данных;
- аппаратная поддержка для отладки программ на языках высокого уровня;
- трассировка 8 произвольных внешних сигналов;
- 4 выхода синхронизации аппаратуры пользователя;
- трассировщик реального времени с буфером объемом от 16 до 64 Кб фреймов по 64 бита с доступом *на лету*. Трассировка адреса, данных, сигналов управления, таймера реального времени и 8 внешних сигналов пользователя;
- программируемый фильтр трассировки;

- аппаратный процессор точек останова с возможностью задания сложного условия останова эмуляции по комбинации сигналов адреса, данных, управления, 8 внешних сигналов, таймера реального времени, счетчиков событий и таймера задержки;
- четыре комплексных точки останова, которые могут быть использованы независимо или в комбинациях по условиям AND/OR/IF-THEN;
- 48-разрядный таймер реального времени;
- прозрачная эмуляция – доступ *на лету* к эмулируемой памяти, точкам останова, процессору точек останова, буферу трассировки, таймеру реального времени;
- управляемый генератор тактовой частоты для эмулируемого процессора. Возможность плавного изменения тактовой частоты от 500 кГц до 40 МГц;
- гальванически развязанный от компьютера канал связи RS232C со скоростью обмена 115 Кбод;
- встроенная система самодиагностики аппаратуры эмулятора.

Характеристики программного обеспечения:

- программное обеспечение ориентировано на работу в среде Windows на IBM-совместимых компьютерах с процессорами типа Pentium;
- встроенный многооконный редактор предназначен для написания исходных текстов программ. Редактор поддерживает операции с блоками текста, поиск/замену, цветное выделение синтаксических конструкций языка ассемблера и Си;
- встроенный менеджер проектов обеспечивает автоматическую компиляцию программ. Все опции задаются в диалоговой форме. Переход от редактирования исходного текста к отладке и обратно происходит *прозрачно*, т.е. менеджер проектов автоматически запускает компиляцию проекта при необходимости;
- PICE-51 обеспечивает символьную отладку и отладку по исходному тексту для программ, созданных с помощью следующих компиляторов:
  - ассемблер ASM51 фирмы Intel;
  - ассемблер MCA-51 фирмы “Фитон/МикроКосм”;
  - компилятор PL/M фирмы Intel;
  - ассемблер и компилятор Си фирмы IAR Systems;
  - ассемблер и компилятор Си фирмы Avocet Systems Inc./HiTech;
  - ассемблер и компилятор Си фирмы Keil Software Inc.
- автоматическое сохранение и загрузка файлов конфигурации аппаратуры, интерфейса и опций отладки. Обеспечивается совместимость файлов конфигурации с симулятором PDS-51. Обеспечена переносимость проектов между эмулятором PICE-51 и симулятором PDS-51;

- возможность настройки цветов, шрифтов и других параметров для всех окон одновременно и для каждого окна в отдельности;
- эмулятор снабжен печатным руководством по эксплуатации и контекстным электронным руководством, в которых детально описаны его принципы работы, команды, меню, “горячие” клавиши.

### 8.1.2. Программный симулятор

*Симулятор* – программное средство, способное имитировать работу микроконтроллера и его памяти. Как правило, симулятор содержит в своем составе отладчик, а также модель процессора и памяти. Более продвинутые симуляторы содержат в своем составе модели встроенных периферийных устройств, таких как таймеры, порты, АЦП, системы прерываний.

Симулятор должен уметь загружать файлы программ во всех популярных форматах, максимально полно отображать информацию о состоянии ресурсов симулируемого микроконтроллера, а также предоставлять возможности по симуляции выполнения загруженной программы в различных режимах. В процессе отладки модель *выполняет* программу, и на экране компьютера отображается текущее состояние модели. Загрузив программу в симулятор, пользователь имеет возможность запускать ее в пошаговом или непрерывном режиме, задавать условные и безусловные точки останова, контролировать и свободно модифицировать содержимое ячеек памяти и регистров симулируемого микропроцессора. С помощью симулятора можно быстро проверить логику выполнения программы, правильность выполнения арифметических операций.

В зависимости от класса используемого отладчика, различные симуляторы могут поддерживать высокоуровневую символьную отладку программ. Некоторые модели симуляторов могут содержать ряд дополнительных программных средств, таких, например, как интерфейс внешней среды, встроенную интегрированную среду разработки.

В реальной системе микроконтроллер обычно занимается считыванием информации с подключенных внешних устройств (датчиков), обработкой этой информации и выдачей управляющих воздействий на исполнительные устройства. Для того чтобы в симуляторе, не обладающем интерфейсом внешней среды, смоделировать работу датчика, нужно вручную изменять текущее состояние модели периферийного устройства, к которому в реальной системе подключен датчик. Если, например, при приеме байта через последовательный порт взводится некоторый флажок, а сам байт попадает в определенный регистр, то оба эти действия нужно производить в таком симуляторе вручную. Наличие же интерфейса внешней среды позволяет пользователю создавать и гибко использовать модель внешней среды микроконтроллера,

функционирующую и взаимодействующую с отлаживаемой программой по заданному алгоритму.

Очевидной особенностью программных симуляторов является то обстоятельство, что исполнение программ, загруженных в симулятор, происходит в масштабе времени, отличном от реального. Однако низкая цена, возможность ведения отладки даже в условиях отсутствия макета отлаживаемого устройства делают программные симуляторы весьма эффективным средством отладки. Отдельно необходимо подчеркнуть, что существует целый класс ошибок, которые могут быть обнаружены только при помощи симулятора.

### 8.1.3. Плата развития

Платы развития (Evaluation Boards) являются своеобразными конструкторами для макетирования прикладных систем. В последнее время при выпуске новой модели кристалла микроконтроллера фирма-производитель обязательно выпускает и соответствующую плату развития.

Обычно это печатная плата с установленным на ней микроконтроллером, а также вся необходимая стандартная обвязка. На этой плате также устанавливаются схемы связи с внешним компьютером. Как правило, там же имеется свободное поле для монтажа прикладных схем пользователя. Иногда имеется уже готовая разводка для установки дополнительных устройств, рекомендуемых фирмой, например ПЗУ, ОЗУ, дисплей на жидких кристаллах (ЖКИ-дисплей), клавиатура, АЦП и др. Кроме учебных или макетных целей, такие доработанные пользователем платы стало выгодно (экономия времени) использовать в качестве одноплатных контроллеров, встраиваемых в малосерийную продукцию (5...20 шт.).

Для большего удобства платы развития комплектуются еще и простейшим средством отладки на базе монитора отладки. Однако здесь проявились два разных подхода: один используется для микроконтроллеров, имеющих внешнюю шину, а второй – для микроконтроллеров, не имеющих внешней шины.

В первом случае отладочный монитор поставляется фирмой в виде микросхемы ПЗУ, которая вставляется в специальную розетку на плате развития. Плата также имеет ОЗУ для программ пользователя и канал связи с внешним компьютером или терминалом. Примером здесь может служить плата развития фирмы Intel для микроконтроллера 8051.

Во втором случае плата развития имеет встроенные схемы программирования внутреннего ПЗУ микроконтроллера, которые управляются от внешнего компьютера. В этом случае программа монитора просто заносится в ПЗУ микроконтроллера совместно с прикладны-

ми кодами пользователя. Прикладная программа при этом специально должна быть подготовлена: в нужные ее места вставляют вызовы отладочных подпрограмм монитора. Затем осуществляется пробный прогон. Для того чтобы внести в программу исправления, пользователю надо стереть ПЗУ и произвести повторную запись. Готовую прикладную программу получают из отлаженной путем удаления всех вызовов мониторных функций и самого монитора отладки.

Важно отметить, что платы развития могут комплектоваться не только монитором, но иногда еще и программами отладки, которые запускаются на внешнем компьютере в связке с монитором. Эти программы в последнее время заметно усложнились и зачастую имеют высокопрофессиональный набор отладочных функций, например отладчик-симулятор или различные элементы, присущие в чистом виде интегрированным средам разработки. В состав поставляемых комплектов могут входить и программы прикладного характера, наиболее часто встречающиеся на практике. Возможности по отладке, предоставляемые комплектом *плата развития плюс монитор*, безусловно, не столь универсальны, как возможности внутрисхемного эмулятора, да и некоторая часть ресурсов микропроцессора в процессе отладки отбирается для работы монитора. Тем не менее наличие законченного набора готовых программно-аппаратных средств, позволяющих без потери времени приступить к монтажу и отладке прикладной системы, во многих случаях является решающим фактором. Особенно если учесть, что стоимость такого комплекта несколько меньше, чем стоимость более универсального эмулятора.

### 8.1.4. Отладочный монитор

*Отладочный монитор* – специальная программа, загружаемая в память отлаживаемой системы. Она вынуждает процессор пользователя выполнять, кроме прикладной задачи, еще и отладочные функции:

- загрузку прикладных кодов пользователя в свободную от монитора память;
- установку точек останова;
- запуск и останов загруженной программы в реальном времени;
- проход программы пользователя по шагам (часть функций трассировщика);
- просмотр, редактирование содержимого памяти и управляющих регистров.

Программа монитора обязательно должна работать в связке с внешним компьютером или пассивным терминалом, на которых и происходит визуализация и управление процессом отладки. Отметим,

что отладочные мониторы используют тот процессор, который уже стоит на плате пользователя.

Достоинством этого подхода являются очень малые затраты при сохранении возможности вести отладку в реальном времени.

Главным недостатком является отвлечение ресурсов микроконтроллера на отладочные и связанные процедуры, например: монитор занимает некоторый объем памяти, прерывания, последовательный канал. Объем отвлекаемых ресурсов зависит от искусства разработчика монитора. В последнее время появились изделия, которые практически не занимают аппаратных ресурсов процессора, о них рассказано в п. 8.1.5.

Стало обычной практикой, что каждая фирма-разработчик семейства микроконтроллеров выпускает и вариант отладочного монитора, который обычно поставляется вместе с платами развития.

### 8.1.5. Эмулятор ПЗУ

*Эмулятор ПЗУ* – программно аппаратное средство, позволяющее замещать ПЗУ на отлаживаемой плате и подставляющее вместо него ОЗУ, в которое может быть загружена программа с компьютера через один из стандартных каналов связи. Это устройство позволяет пользователю избежать многократных циклов перепрограммирования ПЗУ. Эмулятор ПЗУ имеет смысл только для микроконтроллеров, которые в состоянии обращаться к внешней памяти программ. Это устройство сравнимо по сложности и по стоимости с платами развития. Оно имеет одно большое достоинство – универсальность. Эмулятор ПЗУ может работать с любыми типами микроконтроллеров.

Ранние эмуляторы ПЗУ позволяли только загружать программу, запускать ее и останавливать, используя общий сброс. Затем появились усложненные модели с аппаратной выработкой сигналов трассировки на осциллограф по достижении определенного адреса. Эмулируемая память в таких изделиях была доступна для просмотра и модификации, но очень важный контроль за внутренними управляющими регистрами микроконтроллера был до недавнего времени невозможен.

Появились модели интеллектуальных эмуляторов ПЗУ, которые позволяют *заглядывать* внутрь микроконтроллера на плате пользователя и по управлению отладкой стали похожими на внутрисхемный эмулятор. Фирма Sactus даже представляет свой фактически интеллектуальный эмулятор ПЗУ как внутрисхемный эмулятор ряда микропроцессоров, настолько они малоразличимы. В действительности, процессор здесь не замещается, а используется тот, что стоит на плате пользователя.

Интеллектуальные эмуляторы ПЗУ представляют собой гибрид из обычного эмулятора ПЗУ, монитора отладки и схем быстрого переключения шины с одного на другой. Этим создается эффект, как если бы монитор отладки был установлен на плате пользователя, и при этом он не занимает у микроконтроллера никаких аппаратных ресурсов, кроме небольшой зоны программных шагов, примерно 4К. Например, такое устройство разработала фирма “Фитон” для всех существующих и будущих микроконтроллеров, которые имеют ядро от 8051, но дополнительно насыщены различными устройствами ввода-вывода. Это устройство поддерживает множество самых разных микроконтроллеров фирм Philips, Siemens, OKI.

### 8.2. Типичные функциональные модули средств разработки и отладки

Любое из перечисленных инструментальных средств состоит из нескольких взаимодействующих (программных либо аппаратных) функциональных модулей. Каждый из них обеспечивает определенный круг сервисных услуг при разработке и отладке программ. Некоторые из модулей специфичны для того или иного типа инструментальных средств разработки, другие используются практически во всех вариантах систем разработки программ для микроконтроллеров.

Система разработки содержит следующий минимальный набор функциональных блоков: отладчик, узел эмуляции микроконтроллера, эмуляционную память, подсистему точек останова.

Более продвинутые модели могут содержать дополнительно процессор точек останова, трассировщик, профилировщик (анализатор эффективности программного кода), таймер реального времени, программно-аппаратные средства, обеспечивающие возможность чтения и модификации ресурсов эмулируемого процессора *на лету*, т.е. в процессе выполнения программы пользователя в реальном времени, программно - аппаратные средства, обеспечивающие синхронное управление, необходимое для эмуляции в мультипроцессорных системах, интегрированную среду разработки.

#### Отладчик

Отладчик является своеобразным мостом между разработчиком и отладочным средством. Состав и объем информации, проходящей через средства ввода-вывода, доступность ее для восприятия, контроля и, при необходимости, для коррекции и модификации напрямую зависят от свойств и качества отладчика.

Хороший отладчик позволяет осуществлять загрузку отлаживаемой программы в память системы, вывод на монитор состояния и содержимого всех регистров и памяти, а также, при необходимости, их модификацию, управление процессом эмуляции.

Более мощные отладчики, обычно их называют высокоуровневыми (High-Level Debuggers), помимо этого позволяют вести символьную отладку благодаря тому, что отладчик *знает* адреса всех символьных переменных, массивов и структур (за счет использования специальной информации, поставляемой компилятором). При этом пользователь может оперировать более приемлемыми для человека символьными именами, не утруждая себя запоминанием их адресов, контролировать и анализировать не только дизассемблированный текст, но и исходный текст программы, написанной на языке высокого уровня, и даже с собственными комментариями.

Такой отладчик позволяет пользователю одновременно контролировать ход выполнения программы и видеть соответствие между исходным текстом, образом программы в машинных кодах и состоянием всех ресурсов эмулируемого микроконтроллера.

Следует отметить, что высокоуровневый отладчик обеспечивает выполнение всех своих функций только в том случае, если используется кросс-компилятор, поставляющий полную и правильную отладочную информацию (не все компиляторы, особенно их пиратские версии, поставляют такую информацию), и при этом формат ее представления должен быть известен отладчику.

### Узел эмуляции микроконтроллера

Узел эмуляции микроконтроллера – модуль, позволяющий моделировать микроконтроллер.

Данный блок необходим в системах разработки на основе внутрисхемных эмуляторов и симуляторов, в других вариантах средств разработки в системах присутствует реальный микроконтроллер, и поэтому его эмуляция не нужна.

Как правило, при эмуляции микроконтроллера предусматривается возможность запуска программ, их останова и выполнения с различной скоростью, в том числе и в пошаговом режиме. Также обычной является функция просмотра и изменение содержимого внутренних регистров микроконтроллера и состояния его внешних выводов.

### Эмуляционная память

Наличие эмуляционной памяти дает возможность использовать ее в процессе отладки вместо ПЗУ в отлаживаемой системе и, более того, отлаживать программу без использования реальной системы или



ее макета. При необходимости внесения изменений в отлаживаемую программу достаточно загрузить новую или модифицированную программу в память эмулятора, вместо того чтобы заниматься перепрограммированием ПЗУ.

Существуют модели эмуляторов, которые позволяют пользователю *подставлять* вместо ПЗУ эмуляционную память не только целиком, но и поблочно (в некоторых моделях минимальный размер блока может достигать одного байта), в порядке, определенном пользователем. Для этого пользователю достаточно задать распределение памяти данных и памяти программ, в соответствии с которым процессор будет получать доступ и к содержимому ПЗУ в отлаживаемой системе, и к содержимому эмуляционной памяти внутрисхемного эмулятора. Такая память обычно называется памятью с возможностью мэппинга.

### Подсистема точек останова

Подсистема точек останова – набор средств, управляющий процессом выполнения программы. Он позволяет останавливать выполняемую в реальном (или приближенном к реальному) масштабе времени программу при выполнении команды, размещенной по заданному адресу. Частный случай работы системы точек останова – пошаговое выполнение. Другие, часто используемые случаи – останов при проведении операций ввода-вывода.

В том или ином виде данный модуль присутствует как в системах с эмуляцией или симуляцией микроконтроллера, так и в системах с реальным микроконтроллером. В последнем случае при достижении точки останова микроконтроллер останавливается и/или переводится на выполнение специальной мониторинговой программы, при помощи которой можно зафиксировать или изменить состояние микроконтроллера перед последующим стартом.

### Процессор точек останова

Более развитый набор сервисных функций аналогичного назначения имеет процессор точек останова.

Процессор точек останова позволяет останавливать выполнение программы или выполнять иные действия, например запускать или останавливать трассировщик при выполнении заданных пользователем условий. В отличие от механизма обычных точек останова, процессор точек останова позволяет формировать и отслеживать условия практически любой степени сложности, и при этом эмулируемый процесс не выводится из масштаба реального времени.

### Трассировщик

В сущности, трассировщик представляет собой логический анализатор, работающий синхронно с процессором и фиксирующий поток выполняемых инструкций и состояния выбранных внешних сигналов. Существуют модели внутрисхемных эмуляторов, которые позволяют трассировать не только внешние сигналы, но и состояния внутренних ресурсов микроконтроллера, например регистров. Такие эмуляторы используют специальные версии микроконтроллеров (эмуляционные кристаллы).

### Профилировщик

Профилировщик (иначе анализатор эффективности программного кода) позволяет получить по результатам прогона отлаживаемой программы следующую информацию: количество обращений к различным участкам программы, время, затраченное на выполнение различных участков программы.

Анализ статистической информации, поставляемой профилировщиком, позволяет легко выявлять *мертвые* или перенапряженные участки программ и в результате оптимизировать структуру отлаживаемой программы.

### Интегрированная среда разработки

Интегрированная среда разработки – это совокупность программных средств, поддерживающая все этапы разработки программного обеспечения, от написания исходного текста программы до ее компиляции и отладки, и обеспечивающая простое и быстрое взаимодействие с другими инструментальными средствами (программным отладчиком-симулятором, внутрисхемным эмулятором, эмулятором ПЗУ и программатором).

Строго говоря, интегрированные среды разработки не относятся к числу средств отладки, тем не менее обойти вниманием данный класс программных средств, существенно облегчающий и ускоряющий процесс разработки и отладки микропроцессорных систем, было бы неправильно.

При традиционном подходе начальный этап написания программы строится следующим образом:

- исходный текст набирается при помощи какого-либо текстового редактора. По завершении набора работа с текстовым редактором прекращается и запускается кросс-компилятор. Как правило, вновь написанная программа содержит синтаксические ошибки, и компилятор сообщает о них на консоль оператора;

- вновь запускается текстовый редактор, и оператор должен найти и устранить выявленные ошибки; при этом сообщения о характере ошибок, выведенные компилятором, уже не видны, так как экран занят текстовым редактором.

Этот цикл может повторяться не один раз. Если программа имеет большой объем, собирается из различных частей и подвергается длительному редактированию или модернизации, то даже этот начальный этап может потребовать много сил и времени. После этого наступает этап отладки программы, и к редактору с компилятором добавляется эмулятор или симулятор, за работой которого хотелось бы следить прямо по тексту программы в текстовом редакторе.

Избежать большого объема однообразных действий и тем самым существенно повысить эффективность процесса разработки и отладки позволяют интегрированные среды (оболочки) разработки (Integrated Development Environment, IDE).

Работа в интегрированной среде дает программисту следующие возможности:

- использовать встроенный многофайловый текстовый редактор, специально ориентированный на работу с исходными текстами программ;
- проводить диагностику выявленных при компиляции ошибок, которые выводятся в многооконном режиме одновременно с исходным текстом программы, доступном для редактирования;
- организовать и вести параллельную работу над несколькими проектами (менеджер проектов позволяет использовать любой проект в качестве шаблона для вновь создаваемого проекта);
- заново компилировать только редактировавшиеся модули;
- загружать отлаживаемую программу в имеющиеся средства отладки и работать с ними без выхода из оболочки;
- подключать к оболочке практически любые программные средства.

В последнее время функции интегрированных сред разработки становятся стандартной принадлежностью программных интерфейсов эмуляторов и отладчиков-симуляторов.

Подобные функциональные возможности, в сочетании с дружелюбным интерфейсом, в состоянии существенно увеличить скорость разработки программ для микроконтроллеров и процессоров цифровой обработки сигналов.

### 8.3. Программные средства для MCS51

В данном разделе перечислены лишь некоторые из существующих программных средств для разработки программного обеспечения для микроконтроллеров семейства MCS51.

### 8.3.1. Базовые программные средства

#### Макроассемблер A51

Макроассемблер A51 фирмы Keil Software специально разработан для семейства микроконтроллеров 8051. Ассемблер в основном применяется при написании фрагментов программ, наиболее критичных к скорости, размеру кода и возможностям аппаратного управления. В ассемблере включен макроязык, использование которого ускоряет разработку и экономит общее время проектирования. Макроязык позволяет также осуществлять доступ ко всем ресурсам микроконтроллеров с использованием символьных обозначений регистров.

Макроассемблер A51 совместим с ассемблером ASM-51 Intel для всего семейства микроконтроллеров Intel 8051. Ассемблер транслирует символическую мнемонику в перемещаемый объектный код, имеющий высокое быстродействие и малый размер. A51 транслирует исходный файл ассемблера в перемещаемый объектный модуль. При отладке или при включенной опции *Debug* этот объектный файл будет содержать полную символическую информацию для отладчика/имитатора или внутрисхемного эмулятора.

Ассемблер A51 поддерживает все разновидности соответствующего семейства микроконтроллеров. В ассемблере встроено стандартное описание регистров специальных функций. В то же время специальная директива *NOMOD* позволяет аннулировать эти определения путем подключения файла заголовка для конкретного микроконтроллера. Ассемблер содержит файлы заголовков для всех основных членов семейства.

#### Оптимизирующий кросс-компилятор C51

Язык C – универсальный язык программирования, который обеспечивает эффективность кода, содержит элементы структурного программирования и имеет богатый набор операторов. Универсальность, отсутствие ограничений реализации делают язык C удобным и эффективным средством программирования для широкого круга задач. Множество прикладных программ может быть написано легче и эффективнее на языке C, чем на других более специализированных языках.

Компилятор C51 – полная реализация стандарта ANSI (Американского национального института стандартов), насколько это возможно для архитектуры Intel 8051. В C51 входят различные расширения, связанные с реализацией компилятора для микропроцессора с гарвардской архитектурой, содержащей два адресных пространства – для кода и данных, и для более эффективной работы в условиях

ограниченных ресурсов микроконтроллеров. В исполняющей системе (библиотеке) отсутствуют функции, связанные с вызовами операционной системы (операции с файлами и т.д.). C51 генерирует код для всего семейства микроконтроллеров Intel 8051. Транслятор сочетает гибкость программирования на языке C с эффективностью кода и быстрым действием ассемблера.

Использование языка высокого уровня C имеет следующие преимущества над программированием на ассемблере:

- не требуется глубокого знания системы команд процессора, элементарное знание архитектуры Intel 8051 желательно, но не обязательно;
- распределение регистров и способы адресации управляются полностью транслятором;
- лучшая читаемость программы, используются ключевые слова и функции, которые более свойственны человеческой мысли;
- время разработки программ и их отладки значительно короче в сравнении с программированием на ассемблере;
- библиотечные файлы содержат много стандартных подпрограмм, которые могут быть включены в прикладную программу;
- существующие программы могут многократно использоваться в новых программах с помощью модульных методов программирования.

### Редактор связей L51

Редактор связей, или компоновщик, объединяет один или несколько объектных модулей в одну исполняемую программу. Компоновщик размещает внешние и общие ссылки, назначает абсолютные адреса перемещаемым сегментам программ. Он может обрабатывать объектные модули, созданные транслятором C51, ассемблером A51, транслятором PL/M-51 Intel и ассемблером ASM51 Intel.

Компоновщик автоматически выбирает соответствующие библиотеки поддержки и связывает только требуемые модули из библиотек. Установки по умолчанию для L51 выбраны так, чтобы они подходили для большинства прикладных программ, но можно определить и заказные установки.

### Отладчик/симулятор WinSim51

Отладчик исходных текстов используется с транслятором C51, ассемблером A51, транслятором PL/M-51 Intel и ассемблером ASM51 Intel. Отладчик/симулятор позволяет моделировать большинство особенностей Intel 8051 без наличия аппаратных средств. Можно исполь-

зовать его для проверки и отладки прикладной программы прежде, чем будут изготовлены аппаратные средства. При этом моделируется широкое разнообразие периферийных устройств, в том числе последовательный порт, внешний ввод-вывод и таймеры.

#### 8.3.2. Интегрированные среды разработки

##### Интегрированная среда ProView

ProView фирмы Franklin Software Inc. – интегрированная среда разработки программного обеспечения для однокристальных микроконтроллеров семейства Intel 8051 и его клонов. Она включает в себя стандартный интерфейс Windows, полнофункциональный редактор исходных текстов с выделением синтаксических элементов цветом, организатор проекта, транслятор с языка C51, макроассемблер A51, редактор связей L51, симулятор-отладчик, операционную систему реального времени и встроенную справочную систему. Имеется бесплатная демонстрационная версия с ограничением по размеру кода программы на уровне 2 Кбайт. При вводе серийного регистрационного номера демонстрационная версия превращается в полнофункциональную. Достоинства: удобная оболочка, хорошая справочная система, хороший симулятор, есть версии для win16, win32 и DOS. Недостатки: много мелких ошибок, которые, впрочем, легко выявляются с помощью симулятора.

##### Интегрированная среда IAR Embedded Workbench

Интегрированная среда 8051 Embedded Workbench фирмы IAR Systems (Швеция) в рамках единой программной среды поддерживает разработку и отладку программ для большого количества микропроцессоров и микроконтроллеров. Содержит макросредства для описания периферийных узлов. В целом набор программных инструментальных средств тот же самый, что у среды фирмы Franklin, за исключением операционной системы реального времени. Программный симулятор эффективно моделирует работу микропроцессорного ядра отлаживаемого микроконтроллера, однако моделирование периферийных узлов сопровождается ошибками. Доступна бесплатная полнофункциональная демонстрационная версия с ограничениями по ресурсам.

##### Интегрированная среда $\mu$ Vision3

$\mu$ Vision3 – новая отладочная среда фирмы Keil Software для микроконтроллеров семейства MCS51. Она включает в себя стандартный

интерфейс Windows, средства управления проектами, мощный текстовый редактор и многофункциональный отладчик в удобной программной оболочке, транслятор с языка C51, макроассемблер A51, редактор связей L51, симулятор-отладчик, операционную систему реального времени и встроенную справочную систему. В комплект входит подробное руководство, в котором есть справочная информация по всем вопросам и раздел для быстрого освоения программы. Поддерживаются микроконтроллеры фирм: Analog Devices, AMD, Atmel, Dallas Semiconductor, Infineon, Intel, OKI, Philips, Temic, Winbond. По сравнению с другими интегрированными средами  $\mu$ Vision3 характеризуется хорошей оптимизацией, не сопровождаемой различными ошибками компилятора, которые часто присущи другим пакетам. Franklin в этом смысле сильно проигрывает.

### Интегрированная среда Project-51

Интегрированная среда Project-51 фирмы Phyton Inc. Microsystems & Development Tools включает в себя симулятор-отладчик PDS-51, внутрисхемный эмулятор PICE-51. Дополнительное программное обеспечение, входящее в базовую комплектацию, состоит из оптимизирующего компилятора с языка C51, MCA-51, редактора связей MCLINK, разработанных фирмой Phyton Inc. MicroCosm Ltd., дизассемблера и ряда других утилит. Кроме того, предусмотрена поддержка работы с макроассемблерами Keil Software A51 версий 5.x и IAR Systems версий 4.x и 5.20, не входящими в базовую комплектацию. Имеется полнофункциональная бесплатная демонстрационная версия программного пакета (Light-версия), которая имеет единственное отличие от коммерческой версии – размер программы в Light-версии не может превышать 4К.

### Интегрированная среда для ADuC812

Фирма Analog Devices подготовила комплект программного обеспечения для микроконтроллера ADuC812. В комплект программного обеспечения входят ассемблер фирмы MetaLink, демо-версия компилятора C51 фирмы Keil, программное обеспечение для программирования на плате, программный симулятор ADSIM812 для ADuC812, работающий под управлением Windows, полное описание программы для ADSim812 на русском языке, отладчик и библиотека программ с примерами применения.

Эти программы могут работать с фирменной платой развития или отдельно как среда разработки, позволяя проводить полный цикл разработки и отладки программ для микроконтроллера. Для ADuC812 подходят также любые инструментальные средства, разработанные

под архитектуру MCS51. Для отладочной платы приведены принципиальная схема и разводка печатной платы.

### Интегрированная среда ТФ-ИНФО-51

Программно-аппаратный комплекс Инфо-51 разработан и поставляется фирмой ИТФ «Технофорт» (г. С.-Петербург), предназначен для комплексной разработки и отладки программных и аппаратных средств, реализованных на однокристальных ЭВМ семейства MCS51 и их аналогах. Система работает на ПЭВМ, совместимых с IBM PC под управлением MS-DOS версии 3.30 и выше. Поддерживается работа с видеоконтроллерами CGA, EGA, MDA (Hercules), VGA. Минимальный объем требуемой оперативной памяти – 400 Кбайт, дисковой памяти – 300 Кбайт. Для работы аппаратной части комплекса ПЭВМ должна иметь последовательный канал ввода-вывода RS-232. При работе в среде Windows система Инфо-51 может вызываться в окне DOS.

Система Инфо-51 представляет собой интегрированную среду, состоящую из текстового редактора, компилятора с языка ассемблера микроЭВМ семейства MCS51, подсистемы управления файлами, программной модели (симулятора) и программной поддержки внутрисхемного эмулятора.

В состав внутрисхемного эмулятора ВСЭ-51 входит однокристальная микроЭВМ из семейства MCS51, кварцевый генератор и микросхемы оперативной памяти общей емкостью 128 Кбайт.

## 8.4. Язык программирования ASM-51

### 8.4.1. От исходного текста к машинным кодам

Язык программирования ASM-51 поддерживает модульное написание программ. Графическое изображение процесса написания программы на языке программирования ASM-51 приведено на рис 8.1. Файл, в котором хранится программа, написанная на языке ASM51 (исходный текст программы), называется *исходным модулем*. Для исходного текста программы принято использовать расширения файла: `asm`, `a51`, `srs` или `s51`. Исходный текст программы можно написать, используя любой текстовый редактор.

Получить объектный модуль можно, указав имя исходного модуля программы в качестве параметра программы-транслятора в командной строке или строке командного файла:

```
asm51.exe modul.asm
```

Программа *редактор связей* позволяет объединять несколько объектных файлов (модулей) в один. Для объединения нескольких модулей в исполняемую программу имена всех модулей передаются в



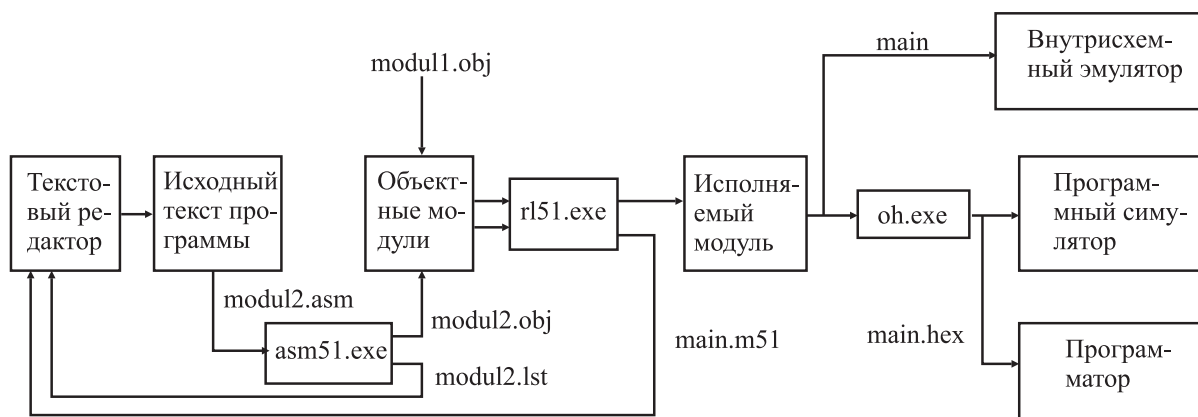


Рис. 8.1. Процесс написания программы на языке программирования ASM-51

редактор связей в качестве параметров при запуске этой программы. Пример вызова редактора связей из командной строки DOS для объединения трёх модулей:

```
rl51.exe main.obj, modul1.obj, modul2.obj
```

Имя исполняемого модуля программы по умолчанию совпадает с именем первого объектного файла в списке параметров строки запуска редактора связей. Исполняемый модуль программы записывается в файл без расширения. Объектный двоичный формат файла представляет собой двоичное представление каждого байта данных без каких-либо адреса, контрольной суммы или описания формата. Этот формат используют, например, для передачи данных внутрисхемному эмулятору.

При компиляции исходного текста программы транслятор составляет таблицу ссылок на константы, переменные и команды. Если при втором просмотре исходного текста программы, во время которого формируется объектный модуль, транслятор не обнаружит имени переменной или метки в своей таблице, то будет сформировано сообщение об ошибке и объектный модуль будет удален с диска компьютера.

Для того чтобы транслятор вместо формирования сообщения об ошибке записал в объектный модуль информацию, необходимую для редактора связей, нужно использовать специальные директивы ссылок на внешние переменные или метки. Обычно эти директивы называются PUBLIC (общие) и EXTRN (внешние). Для ссылки на переменную или метку используется директива EXTRN, в которой перечисляются через запятую метки и переменные. Редактор связей должен сначала получить их точное значение из другого модуля, а затем модифицировать все команды, в которых эти метки или переменные используются. Для того чтобы редактор связей мог осуществить связывание модулей в единую программу, переменные и метки, объявленные, по крайней мере, в одном из модулей как EXTRN, в другом

модуле должны быть объявлены как доступные для всех модулей при помощи директивы PUBLIC.

Большинство программаторов не может работать с объектным форматом исполняемого модуля программы, поэтому для загрузки машинного кода в процессор необходимо преобразовать объектный формат исполняемого модуля в общепринятый для программаторов гексадецимальный (hex) формат. При преобразовании форматов вся отладочная информация теряется. Машинный код процессора в гексадецимальном формате называется загрузочным модулем.

Загрузочный модуль программы получают при помощи программы-преобразователя `oh.exe`, передав ей в качестве параметра имя файла исполняемого модуля программы:

```
oh.exe main
```

Полученный файл `main.hex` загружается в разрабатываемое устройство или программный симулятор для последующей отладки.

#### 8.4.2. Запись исходного текста программы

Исходный текст программы представляет собой последовательность операторов языка, сгруппированных в сегменты и оформленных в виде файла.

**Оператор** – это базовая конструкция языка программирования, определяющая действия в программе. В одной строке может быть записан только один оператор. Максимальный размер строки – 255 символов. Признаком конца оператора является символ *возврат каретки*.

Оператор состоит из четырех полей:

```
<метка> <операция> <операнд> ; <комментарий>
```

Любое из полей, в том числе и все поля, может отсутствовать. Оператор, в котором все поля отсутствуют, называется пустым оператором. Он используется для увеличения наглядности программы.

**Метка.** В поле метки размещается символическое имя ячейки памяти, в которой хранится отмеченная команда или операнд. Метка представляет собой буквенно - цифровую комбинацию, начинающуюся с буквы. Используются только буквы латинского алфавита. Ассемблер ASM-51 допускает использование в метках символа подчеркивания ( `_` ). Длина метки не должна превышать 31 символ. Метка всегда завершается двоеточием ( `:` ).

Пример оператора, записанного на языке ASM-51:

```
SumDig: ADD A, #56 ; Сложить (A) + 56
 mov R0, A ;
 mov A, @R0 ;
```

Если в операторе присутствует только метка, то она помечает ближайший следующий оператор, в котором присутствует инструкция процессора или директива ассемблера. Признаком конца поля метки является символ *двоеточие* (:). Однако язык программирования ASM-51, в виде исключения, допускает использовать символы интервала как признак конца поля метки.

Пример использования оператора, содержащего только метку:

```
Podprog1: ; Помечен след. оператор
 mov R0, A ;
 mov A, @R0 ;
```

**Операция.** В поле операции записывается мнемоническое обозначение команды MCS51 или директивы ассемблера. Используется строго определенный и ограниченный набор мнемонических кодов. Любой другой набор символов, размещенный в поле операции, воспринимается ассемблером как ошибочный.

**Операнды.** В этом поле определяются операнды (или операнд), участвующие в операции. Команды ассемблера могут быть без-, одно- или двухоперандными. Операнды разделяются запятой (,).

Операнд может быть задан непосредственно или в виде его адреса (прямого или косвенного). Непосредственный операнд представляется числом (MOV A, #15) или символическим именем (ADDC A, #OPER2) с обязательным указанием префикса непосредственного операнда (#). Прямой адрес операнда может быть задан мнемоническим обозначением (IN A, P1), числом (INC 40), символическим именем

MOV A, MEMORY

Указанием на косвенную адресацию служит префикс (@). В командах передачи управления операндом может являться число (LCALL 0135H), метка (JMP LABEL), косвенный адрес (JMPP @A) или выражение (JMP \$-2, где \$ – текущее содержимое счетчика команд).

Используемые в качестве операндов символические имена и метки должны быть определены, а числа представлены с указанием системы счисления.

**Комментарий.** Поле комментария может быть использовано программистом для текстового или символьного пояснения логической организации прикладной программы. Поле комментария полностью игнорируется ассемблером, а потому в нем допустимо использовать любые символы. По правилам языка ассемблера поле комментария начинается после точки с запятой (;).

### Алфавит языка

Символы исходной программы представляют собой подмножество таблиц символов ASCII для DOS и ANSI для WINDOWS. В исходном тексте программы, написанном на языке программирования ASM-51, допустимо использование символов интервала, букв, знаков цифр.

Символы интервала определяют один или несколько пробелов в предложении исходного модуля. К этим символам относятся *пробел* и *табуляция*.

В качестве букв воспринимаются латинские буквы верхнего и нижнего регистра, цифры (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9) и знаки (# \$ ' ( ) \* + , - . / : ; < > = ? @)

Знаки, комбинации знаков (<>, >=, <=), а также символы интервала являются разделителями конструкций языка. До и после знака *минус* разделителя в любой конструкции языка могут быть вставлены символы интервала.

ASCII-символы, не входящие в перечень основных символов алфавита языка, считаются дополнительными. Эти символы могут использоваться для пояснений в исходном тексте программы, а также для определения символьных констант.

Из символов формируются идентификаторы и числа.

### Идентификаторы

**Идентификатор** – это символическое обозначение объекта программы. В качестве идентификатора может быть использована любая последовательность букв и цифр. При этом в качестве буквы могут быть использованы любая буква латинского алфавита, а также вопросительный знак (?) и знак *нижнее подчеркивание* ( \_ ). Идентификатор может начинаться только с буквы! В идентификаторах язык программирования ASM-51 различает буквы верхнего и нижнего регистров.

Количество символов в идентификаторе ограничено длиной строки (255 символов). Транслятор различает идентификаторы по первым 31 символу.

Примеры идентификаторов:

ADD5, FFFFH, ?, ALFA\_1.

В языке программирования ASM-51 имеется три категории идентификаторов: *ключевые слова*, *встроенные имена* и *определяемые имена*.

**Ключевые слова.** Ключевое слово является определяющей частью оператора языка ассемблера. Значения ключевых слов языка ассемблера ASM-51 не могут быть изменены или переопределены в программном модуле каким-либо образом. Ключевому слову не может быть назначено имя-синоним. Ключевые слова могут быть написаны буквами как верхнего, так и нижнего регистров.

В языке ASM-51 имеются следующие категории ключевых слов:

- инструкции;
- директивы;
- вспомогательные слова;
- операции.

Инструкции по форме записи совпадают с мнемоническими обозначениями команд микроконтроллеров семейства MCS51 и совместно с операндами составляют команды микроконтроллера.

Директивы совместно со вспомогательными словами определяют действия в программе, которые должны быть выполнены ассемблером в процессе преобразования исходного текста программы в объектный код. В языке программирования ASM-51 используются следующие директивы: BIT, BSEG, CODE, CSEG, DATA, DB, DBIT, DS, DSEG, DW, END, EQU, EXTRN, IDATA, ISEG, NAME, ORG, PUBLIC, RSEG, SEGMENT, SET, USING, XDATA, XSEG. Спецификация директив приведена в п. 8.4.3.

Директивы ассемблера не преобразуются в двоичные коды, а потому не могут иметь меток. Исключение составляют директивы резервирования памяти и определения данных (DS, DB, DW). У директив, осуществляющих определение символических имен, в поле метки записывается определяемое символическое имя, после которого двоеточие не ставится.

В качестве символических имен и меток не могут быть использованы мнемокоды команд, директивы и операторы ассемблера, а также мнемонические обозначения регистров и других внутренних блоков микроконтроллера.

Вспомогательные слова, используемые в ассемблере: AT, BIT, BITADDRESSABLE, CODE, DATA, IDATA, INBLOCK, INPAGE, NUMBER, PAGE, UNIT, XDATA.

Ассемблер ASM-51 допускает использование выражений в поле операндов, значения которых вычисляются в процессе трансляции. Перечень операций, использующихся языком ASM-51:

AND, EQ, GE, GT, HIGH, LE, LOW, LT, MOD, NE, NOT, OR, SHL, SHR, XOR.

Выражение представляет собой совокупность символических имен и чисел, связанных операторами ассемблера. Операторы ассемблера обеспечивают выполнение арифметических ("+" – сложение, "-" – вычитание, "\*" – умножение, "/" – целое деление, MOD – деление по модулю) и логических (OR – ИЛИ, AND – И, XOR – исключающее ИЛИ, NOT – отрицание) операций в формате 2-байтных слов. Например, запись ADD A, #((NOT 13) + 1) эквивалентна записи ADD A, #0F3H и обеспечивает сложение содержимого аккумулятора с числом –13, представленным в дополнительном коде.

Широко используются также операторы LOW и HIGH, позволяющие выделить младший и старший байты 2-байтного операнда.

**Встроенные имена.** Встроенные имена присвоены адресам регистров специальных функций, адресам флагов специальных функций AR0-AR7, рабочим регистрам R0-R7 текущего банка регистров, а также аккумулятору A и флагу переноса C.

A, R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, DPTR, PC, C, AV, SP

**Определяемые имена.** Определяемые имена объявляются пользователем. В языке программирования ASM-51 имеются следующие категории определяемых идентификаторов:

- метки;
- внутренние и внешние переменные адресного типа;
- внутренние и внешние переменные числового типа;
- имена сегментов;
- названия программных модулей.

### Представление чисел

В языке программирования ASM-51 используются целые беззнаковые числа, представленные в двоичной, восьмеричной, десятичной и шестнадцатеричной формах записи. Для определения основания системы счисления используется суффикс (буква, следующая за числом): B (двоичное число), Q или O (восьмеричное число), [D] (десятичное число) и H (шестнадцатеричное число). Для десятичного числа суффикс может отсутствовать. Количество символов в числе ограничено размером строки, однако значение числа определяется по модулю  $2^{16}$  (т.е. диапазон значений числа находится в пределах от 0 до 65535).

Примеры записи чисел:

011101b, 1011100B, 735Q, 456o, 256, 0fah, 0CBH

Часто число используется для представления символов. В этом случае для определения числа можно воспользоваться литеральной константой. Литеральная константа заключается в апострофы:

'a', 'W'

```
mov SBUF, #'B'
```

Для записи фраз в памяти программ можно воспользоваться литеральными строками:

```
Nadr: DB 'Ошибка в блоке 5'
```

В этом случае каждый символ заменяется отдельным байтом и запоминается в ПЗУ памяти программ.

### Сегменты памяти

Ассемблер поддерживает определенную логическую структуру памяти микроконтроллера для спецификации размещения отдельных частей программы. Основу логической структуры составляет понятие родового (Generic) сегмента.

Родовой сегмент имеет имя, класс памяти (class) и другие атрибуты. Родовые сегменты с одним и тем же именем, но расположенные в разных объектных модулях считаются частями одного и того же сегмента и называются частными (partial) сегментами. Объединение частных сегментов осуществляет редактор связей. Родовой сегмент создается директивой SEGMENT, специфицирующей имя и класс сегмента.

```
MYPROG SEGMENT CODE ; Имя = MYPROG,
 ; класс = CODE
```

Параметр class используется редактором связей для группировки сегментов с одним классом памяти. В ассемблере поддерживаются классы памяти BIT, CODE, DATA, IDATA, XDATA.

Необязательные параметры директивы SEGMENT позволяют задать параметры для настройки редактора связей, характеризующие тип перемещаемости и тип выделяемых ресурсов. Ассемблер поддерживает следующие типы перемещаемости (reloctype):

**AT** – абсолютный сегмент. Вспомогательной директивой AT задается абсолютный адрес начала сегмента;

**BITADDRESSABLE** – сегмент, размещаемый в области памяти прямоадресуемых битов. Эта область расположена в РПД от 20H до 2FH. Длина сегмента не может превышать 16 байтов. Такой тип сегмента может быть задан лишь для класса памяти DATA;

**INBLOCK** – сегмент, размещаемый в 2048-байтовом блоке. Может быть специфицирован только для класса памяти CODE;

**INPAGE** – сегмент, размещаемый на странице памяти в 256 битов;

**OVERLAYABLE** – оверлейный сегмент. Занимаемая область памяти может быть общей для нескольких оверлейных сегментов. Есть ряд ограничений на выбор имен для оверлейных сегментов.

Ассемблер ASM-51 поддерживает только один тип выделяемых (alloctype) ресурсов: PAGE предписывает редактору связей разместить стартовый адрес сегмента точно на границе 256-байтовой страницы памяти.

Для выбора одного из ранее созданных родовых сегментов используется директива RSEG, которая делает указанный родовой сегмент активным.

Пример назначения сегмента стека:

```
STACK SEGMENT IDATA ; Создать сегмент
 RSEG STACK ; Активировать сегмент
 DS 10H ; Под сегмент 16 байтов
```

В ассемблере ASM-51 предопределены пять родовых сегментов, соответствующих пяти областям адресного пространства в архитектуре MCS51: сегмент программ (CSEG), сегмент данных в РПД, доступных по прямому адресу (DSEG), сегмент данных в РПД, доступных по косвенному адресу (ISEG), сегмент внешних данных (XSEG) и сегмент битов (BSEG). Для каждого сегмента поддерживается свой собственный счетчик адреса. Счетчик становится активным, когда соответствующий сегмент активизируется. Когда сегмент активизируется в первый раз, его счетчик адреса равен нулю. Вспомогательная директива AT позволяет задать требуемое начальное значение счетчика сегмента. В начале работы компилятора активным считается по умолчанию сегмент программных адресов (CSEG). Это позволяет при необходимости работать с ассемблером без явного декларирования родового сегмента и его активизации.

Счетчиком адреса текущего сегмента можно управлять при помощи директив ORG, DS, DBIT. Если после переключения сегмента мы возвратимся к ранее используемому сегменту, то значение его счетчика адреса будет восстановлено таким, каким оно было, когда произошел переход к другому сегменту. Переменная \$ содержит текущее значение счетчика адреса активного сегмента.

### 8.4.3. Описание директив ассемблера

Ассемблер ASM-51 имеет набор директив, которые позволяют установить значение меток, зарезервировать и инициализировать память, управлять размещением программы.

#### *Директивы присваивания*

**EQU** Присваивает числовое значение символическому имени. В процессе ассемблирования всюду, где встретится данное символиче-



ское имя, оно будет заменено числом или выражением. Символическое имя может быть определено директивой EQU только один раз.

```
<имя> EQU <выражение> ;

PET EQU 13 ; Пример: PET := 13
MAT EQU PET + 4 ; Будет MAT := 17
COUNTER EQU R0 ;
ASCII_D EQU 'D' ;
```

**SET** Присваивает новое числовое значение символическому имени. Действует аналогично директиве EQU, но символическое имя, изначально определенное директивой SET, может быть далее по тексту переопределено директивой SET неограниченное число раз.

```
<имя> SET <выражение> ;

PET SET 3 ; Пример: PET := 3
PET SET PET + 2 ; Будет PET := 5
```

**BIT** Присваивает указанному символическому имени адрес бита. Имя будет иметь тип сегмента BSEG и может быть использовано только в битовых операндах и операторе DB. Карта расположения адресуемых битов в РПД и регистрах специальных функций приведена на рис. 6.19. Биты с адресами от 0 до 127D расположены в области РПД от 20H до 2FH, с адресами от 128 до 255D – в регистрах специальных функций. Численные значения битовых адресов, превышающие 255D, воспринимаются как ошибка.

```
<имя> BIT <выражение> ;

Flag BIT 17H.2 ;
Err BIT OV ;
```

**CODE** Присваивает символическому имени адрес ячейки, расположенной в памяти программ. Имя будет иметь тип сегмента CSEG. Численное значение адреса не должно превосходить 65535D.

```

<имя> CODE <выражение> ;
RESET CODE 0 ;
EXTIO CODE RESET + (1024/16) ;

```

**DATA** Присваивает символическому имени адрес прямоадресуемой ячейки в РПД. Имя будет иметь тип сегмента DSEG и не может быть использовано в операциях с битами и переходах. Численное значение, превышающее 255D, воспринимается как ошибка.

```

<имя> DATA <выражение> ;
CONIN DATA SBUF ; CONIN := 99H
Table DATA 70H ; Table := 70H

```

**IDATA** Присваивает символическому имени адрес ячейки в РПД, адресуемой косвенно. Имя будет иметь тип сегмента ISEG и не может быть использовано в операциях с битами и переходах. Численное значение, превышающее 255D, воспринимается как ошибка.

```

<имя> IDATA <выражение> ;
TOKEN IDATA 60 ;
BYTE_CNT IDATA TOKEN + 1 ;
ADDR IDATA TOKEN + 2 ;

```

**XDATA** Присваивает указанному символическому имени адрес внешней памяти данных. Имя будет иметь тип сегмента XSEG и может быть использовано только в командах DW и загрузки DPTR. Численное значение, превышающее 65535, воспринимается как ошибка.

```

<имя> XDATA <выражение> ;
Date XDATA 777H ;
Time XDATA Date + 3 ;

```

### *Директивы управления сегментами*

**SEGMENT** Создает новый родовой сегмент. Обязательные параметры директивы: уникальное имя родového сегмента (Name) и класс (class) памяти сегмента. Необязательные параметры reloctype и alloctype служат для настройки редактора связей.

```
Name SEGMENT class [reloctype] [alloctype] ;
```

**RSEG** Назначает указанный (Name) родовой сегмент текущим. Действует до следующего применения директивы RSEG. Специфицируемый родовой сегмент должен быть ранее создан директивой SEGMENT.

```
RSEG Name ;
```

**BSEG** Выбирает сегмент битовых адресов, восстанавливая последнее значение битового счетчика адреса. Счетчик адреса этого сегмента может быть изменен директивами ORG и DBIT. Вспомогательная (необязательная) директива AT позволяет задать значение счетчика при выборе сегмента.

```
[метка:] BSEG [AT <выражение>] ;
BSEG ;
BSEG AT 32 ; BSEG := 32D
```

**CSEG** Выбирает сегмент программных адресов, восстанавливая последнее значение программного счетчика адреса. Этот сегмент устанавливается по умолчанию в начале программы. Счетчик адреса этого сегмента может быть изменен директивами ORG, DS, DB, DW, а также любой ассемблерной командой. Вспомогательная (необязательная) директива AT позволяет программисту задать конкретное значение счетчика при выборе сегмента.

```
[метка:] CSEG [AT <выражение>] ;
 CSEG ;
 CSEG AT 32 ; CSEG := 32D
```

**DSEG** Выбирает сегмент адресов внутрикристальных данных, восстанавливая последнее значение счетчика адреса внутрикристальных данных. Счетчик адреса этого сегмента может быть изменен директивами **ORG** и **DS**. Вспомогательная (необязательная) директива **AT** позволяет задать значение счетчика при выборе сегмента.

```
[метка:] DSEG ;
 DSEG ;
 DSEG AT 32 ; счетчик DSEG := 32D
```

**ISEG** Выбирает сегмент адресов РПД, восстанавливая последнее значение счетчика адреса данных в РПД. Счетчик адреса этого сегмента может быть изменен директивами **ORG** и **DS**. Вспомогательная (необязательная) директива **AT** позволяет задать значение счетчика при выборе сегмента.

```
[метка:] ISEG ;
 DSEG ;
 ISEG AT 32 ; счетчик ISEG := 32D
```

**XSEG** Выбирает сегмент адресов внешних данных, восстанавливая последнее значение счетчика адреса внешних данных. Счетчик адреса этого сегмента может быть изменен директивами **ORG** и **DS**. Вспомогательная (необязательная) директива **AT** позволяет задать значение счетчика при выборе сегмента.

```
[метка:] XSEG ;
 XSEG ;
 XSEG AT 32 ; счетчик XSEG := 32D
```

### *Директивы резервирования памяти*

**DS** Резервирует память в указанном количестве байтов. Директиву **DS** можно использовать в сегментах **DSEG**, **ISEG**, или **XSEG**. Счетчик сегмента увеличивает свое значение на указанную величину. Численное значение указанной величины не должно приводить к выходу счетчика за границы сегмента.

```
[метка:] DS <выражение> ;

 DS 10H ; Резервирует
 ; 16 битов памяти
STRING: DS 10H ; STRING := адрес
 ; первого байта
```

**DBIT** Резервирует область в сегменте битов, он может использоваться только в битовом сегменте.

```
[метка:] DBIT <выражение> ;
```

**ORG** Применяется в любых сегментах. Когда в программе встречается **ORG**, значение выражения присваивается счетчику адреса текущего сегмента.

```
 ORG <выражение> ;

 ORG 800H ;
```

**DB** Инициализирует программную память байтовыми величинами и символьными строками. Байтовые величины должны быть разделены запятой.

```
[метка:] DB <список_выражений> ;

 DB 0FFH ;
Lab: DB 1, 2, 3, 5H, 7D ;
Age: DB 'MARY', 27, 'JOE', 18 ;
```

**DW** Инициализирует программную память с помощью списка 16-битовых значений. Старший байт помещается по старшему адресу.

```
[метка:] DW <список_выражений> ;
 DW 0EFFFH ;
Lab: DB 950,0FFFFH ;
```

### *Прочие директивы*

**USING** Назначает текущий банк регистров общего назначения. Директива упрощает выбор текущего банка регистров, но результат ее действия может быть переопределен командами переключения банков регистров. Численное значение номера банка регистров лежит в диапазоне от 0 до 3D.

```
USING <выражение> ;
USING 0 ; Выбран банк 0
USING 1+1+1 ; Выбран банк 3
```

**NAME** Задает имя объектного модуля, генерируемого данной программой. Имя может иметь длину до 40 символов и записывается в объектный файл вместе с соответствующим модулем. В общем случае имя объектного модуля может не совпадать с именем объектного файла. В исходном файле может быть только одна директива Name. Если эта директива отсутствует, то в качестве имени объектного модуля используется имя исходного файла без расширения.

```
NAME <имя объектного модуля> ;
```

**PUBLIC** Перечисляет символьные имена, определенные в данном модуле, которые редактор связей должен сделать доступными для использования в других модулях. В качестве разделителя имен используется запятая. В список не входят имена регистров и сегментов.

```
PUBLIC <список символьных имен> ;

PUBLIC PUT_CRLF, PUT_STRING, PUT_EOS ;
PUBLIC ASCBIN, BINASC ;
PUBLIC GETTOKEN, GETNUMBER ;
```

**EXTRN** Перечисляет символьные имена, определенные в других модулях и декларированные там директивой PUBLIC, в целях использования этих символьных имен в данном модуле. В директиве специфицируется класс памяти (class) декларируемых символов: BIT, CODE, DATA, IDATA, XDATA или NUMBER. Параметр NUMBER означает любой класс памяти. Внутри круглых скобок символьные имена разделяются запятыми.

```
EXTRN class (<список символьных имен>) ;

EXTRN CODE (PUT_CRLF), DATA (BUFFER) ;
EXTRN CODE (BINASC, ASCBIN) ;
EXTRN NUMBER (TABLE_SIZE) ;
```

**END** Завершает ассемблерную программу.

```
END ;
```

## Пример программы на языке ассемблера ASM-51

```

;-----
; ПРИМЕР программы на языке ассемблера ASM-51
;-----

NAME SAMPLE

EXTRN CODE (PUT_CRLF, PUTSTRING)
PUBLIC TXTBIT

PROG SEGMENT CODE
CONST SEGMENT CODE
VAR1 SEGMENT DATA
BITVAR SEGMENT BIT
STACK SEGMENT IDATA

 RSEG STACK
 DS 10H ; 16 байтов под стек

 CSEG AT 0
 USING 0 ; Банк регистров 0
; При включении программа стартует с адреса 0.
 JMP START

 RSEG PROG
; Установит указатель стека
START: MOV SP,#STACK-1

; Инициализация последовательного интерфейса
; Использовать таймер 1 для задания скорости передачи
; Частота резонатора = 11.059 MHz
 MOV TMOD,#00100000B ;C/T = 0, Mode = 2
 MOV TH1,#0FDH
 SETB TR1
 MOV SCON,#01010010B

; Очистка TXTBIT для чтения CODE-памяти
 CLR TXTBIT

; Это головная программа.
; В цикле выводит текст на консоль
REPEAT:
; печать сообщения

```



```
 MOV DPTR, #TXT
 CALL PUTSTRING
 CALL PUT_CRLF
; повторение
 SJMP REPEAT
;
 RSEG CONST
TXT: DB 'TEST PROGRAM', 00H

; Исключительно для примера
 RSEG VAR1
DUMMY: DS 21H

; TXTBIT = 0 Чтение текста из CODE-памяти
; TXTBIT = 1 Чтение текста из XDATA-памяти
 RSEG BITVAR
TXTBIT: DBIT 1

 END

;-----
```

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яценков В.С. Микроконтроллеры Microchip: Практическое руководство. Схемы применения, программы, описания /В.С. Яценков. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 280 с.
2. Схемотехника электронных систем: Микропроцессоры и микроконтроллеры /В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков, А.А. Зори, В.М. Спивак, Т.А. Терещенко, Ю.С. Петергеря. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2004. 464 с.
3. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры семейства Classic фирмы Atmel /А.В. Евстифеев. М.: Изд. дом “Додека-XXI”, 2004. 288 с.
4. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники: курс лекций /Ю.В. Новиков, П.К. Скоробогатов. М.: ИНТУИТ.РУ “Интернет-университет информационных технологий”, 2004. 440 с.
5. Предко М. Справочник по PIC-микроконтроллерам /М. Предко. М.: Изд. дом “Додека-XXI”, 2004. 512 с.
6. Огородников И.Н. Введение в микропроцессорную технику /И.Н. Огородников. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. 143 с.
7. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному /М.С. Голубцов. М.: Солон Пресс, 2003. 288 с.
8. Каспер Э. Программирование на языке ассемблера для микроконтроллеров семейства i8051 /Э. Каспер. М.: Горячая линия-Телеком, 2003. 192 с.
9. Тавернье К. PIC-контроллеры /К. Тавернье. Практика и применение. М.: ДМК Пресс, 2003. 272 с.
10. Андрэ Ф. Микроконтроллеры семейства SX фирмы Scenix /Ф. Андрэ. М.: Изд. дом “Додека-XXI”, 2002. 272 с.
11. Бродин В.Б. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. /В.Б. Бродин, А.В. Калинин. М.: ЭКОМ, 2002. 400 с. (Серия “Современная микропроцессорная техника”).
12. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры Microchip: практическое руководство /А.В. Евстифеев. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 296 с.
13. Предко М. Руководство по микроконтроллерам: в 2 т. /М. Предко. М.: Постмаркет, 2001. Т.1. 415 с.; Т.2. 487 с. (Серия “Библиотека современной электроники”).
14. Пухальский Г.И. Проектирование микропроцессорных систем: учеб. пособие для межвузовского использования /Г.И. Пухальский. СПб.: Политехника, 2001. 544 с.
15. Корнеев В.В. Современные микропроцессоры /В.В. Корнеев, А.В. Киселев. М.: НОЛИДЖ, 2000. 320 с.
16. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника /Е.П. Угрюмов. СПб.: БХВ-Санкт Петербург, 2000. 528 с.

17. Ровдо А.А. Микропроцессоры от 8086 до Pentium III Xeon и AMD-K6-3. Регистры. Команды. Ассемблер /А.А. Ровдо. М.: ДМК, 2000. 592 с.
18. Бродин В.Б. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс: справочник /В.Б. Бродин, М.И. Шагурин. М.: ЭКОМ, 1999. 400 с.
19. Мокрецов В.П. Микропроцессоры и микропроцессорные системы: уч. пособие /В.П. Мокрецов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999. 125 с.
20. Комаров А.В. Введение в микропроцессоры: конспект лекций по курсу “Микропроцессорные устройства” /А.В. Комаров. Обнинск: ИАТЭ, 1998. 74 с.
21. Горбунов Б.Б. Современные микроконтроллеры: Архитектура, средства проектирования, примеры применения, ресурсы сети Интернет /под ред. И.В. Коршуна. М.: Аким, 1998. 272 с.
22. Нерода В.Я. Однокристалльные микроЭВМ MCS51. Архитектура /В.Я. Нерода, В.Э. Торбинский, Е.Л. Шлыков. М.: Диджитал Компонентс, 1995. 164 с. (Серия “Однокристалльные микроЭВМ”).
23. Однокристалльные микроЭВМ /А.В. Боборыкин, Г.Н. Липовецкий, Г.В. Литвинский, О.Н. Оксинь, С.В. Прохорчик, Л.В. Проценко, Н.В. Петренко, А.А. Сергеев, П.В. Сивобородов. М.: МИКАП, 1994. 400 с.
24. Однокристалльные микроЭВМ: Семейство МК48. Семейство МК51: техническое описание и руководство по применению /Г.Н. Липовецкий, Г.В. Литвинский, О.Н. Оксинь, Л.В. Проценко, Н.В. Петренко, П.В. Сивобородов. М.: Бином, 1992. 334 с.
25. Сташин В.В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах /В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева. М.: Энергоатомиздат, 1990. 224 с.
26. Григорьев В.Л. Программирование однокристалльных микропроцессоров /В.Л. Григорьев. М.: Энергоатомиздат, 1987. 288 с.
27. Балашов Е.П. Микро- и миниЭВМ: учебн. пособ. для студ. вузов /Е.П. Балашов, В.Л. Григорьев, Г.А. Петров. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 376 с.
28. Инструментальные средства для микроконтроллеров [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.phyton.ru/cp1251/infos/articles.shtml>.

## Предметно-именной указатель

### A

Aiken, Howard 18

### B

Baud 111

Bit 6

Bus 10

Byte 6

### F

Faggin, Federico 63

Function 123

### H

Host 123

Hub 123

Hunt 112

### M

Mark 119

Moore, Gordon 63

### N

Neumann von, John 17

Nibble 6

### P

Patterson, David 22

### S

Space 119

### U

UART 116

USART 116

USB пакет

    Data paket 124

    Handshake Paket 124

    Token paket 124

USB пересылка

    изохронная 124

    потоквая 124

    с прерыванием 124

    управляющая 124

### W

Word 6

---

### A

АЛУ 10

Адаптер 85

Адресация 81

    базовая

        со смещением 83

        с индексированием 83

    индексная 83, 276

    косвенная 137

        автодекрементная 83

        автоинкрементная 83

        относительная 83

        регистровая 82, 275

непосредственная 82, 137, 276  
неявная 82, 137, 276  
относительная 83  
    косвенная 83  
    с индексированием 84  
подразумеваемая 82, 137  
прямая 82, 137, 276  
регистровая 82, 137, 276  
сегментная 84  
символическая 276  
страничная 84  
Анализатор эффективности ко-  
да 327  
Архитектура 16  
    аккумулятор 19  
    фон Неймана 17  
    гарвардская 18  
    принстонская 17  
    регистр-регистр 20  
    стековая 20  
    CISC 21  
    EPIC 22  
    RISC 22  
    VLIW 22  
Ассемблер 72  
Автоинкремент 58

## Б

Байт 6  
База 155  
Бит 6  
Биты управления  
    МК51  
        бит защиты 266  
    C/T 251  
    GATE 249  
    SM2 255  
    SMOD 253, 256  
    TR1 249  
Блок быстрого ввода-вывода 295  
Блок сопряжения 87  
Бод 111

## В

Вектор прерываний 94  
Витая пара 111  
Включение устройств  
    Дейзи-цепочка 100  
    Приоритетная цепочка 101  
    каскадное 101  
    гирляндное 101  
Временная база 177

## Г

Графы 7

## Д

Дешифраторы  
    адреса 87  
    команд 65  
Детектор события 179  
Драйвер линии 119

## Ж

ЖКИ-дисплей 321

## З

Загрузчик  
    резидентный 76  
    Boot Strep 174  
Захват машинного цикла  
    без блокировки МП 107  
    с блокировкой МП 107  
Закон Мура 63  
Запоминающие устройства  
    динамические 44  
    BEDORAM 46

- CDRAM 50
  - DRDRAM 49
  - EDORAM 46
  - EDRAM 50
  - FPM 45
  - MDRAM 47
  - RDRAM 48
  - SDRAM 47
  - кэш-память
    - ассоциативная 31
    - наборно-ассоциативная 32
    - полностью ассоциативная 32
    - с прямым размещением 32
    - L1 32
    - L2 32
  - последовательные
    - файловые 30
    - очередь 30
    - стек 31
    - видеопамять 31
    - FIFO 30
    - LIFO 31
  - постоянные 36
  - программируемые 37
  - репрограммируемые 38
  - статические 41
  - сверхоперативные 51
- И**
- Инкремент 57
  - Инструкция 10
  - Интеграл свертки 68
  - Интегрированная среда разработки 327
    - ТФ-ИНФО-51 (Технофорт) 333
    - ADuC (Analog Devices) 332
    - Embedded Workbench (IAR) 331
    - Project-51 (Phyton) 332
    - ProView (Franklin) 331
    - uVision (Keil) 331
  - Интерфейс 85
  - И41 86
  - ИРПС 111
    - системный 85
  - Bitbus 270
  - CAN 121
  - I2C 121
  - Microbus 86
  - Multibus 86
  - Rambus Channel 49
  - RS-232 117
  - RS-422 119
  - RS-423 119
  - RS-449 119
  - RS-485 120
  - SPI 120
  - USB 123
  - Исполнительный адрес 81
- К**
- Кабель
    - коаксиальный 111
    - модемный 117
    - нуль-модемный 119
  - Кадр 114
  - Канал
    - параллельный 89
    - последовательный 89
  - Карно карта 5, 7
  - Классы памяти 340
  - Коды
    - дополнительные 78
    - двоично-десятичные
      - распакованные 79
      - упакованные 79
    - манчестерский 286
    - машинные 72
    - объектные 73
    - прямые со знаком 78
    - ASCII 73
  - Кодирование
    - логических уровней 122
    - микрокоманд

двухуровневое 60  
горизонтальное 58  
косвенное 60  
смешанное 59  
вертикальное 59  
Non-Return-to-Zero 122  
Команда 10  
Компаратор  
    аналоговый 182  
    цифровой 179  
Компоновщик 74  
Концентратор 123  
Конфигурация  
    максимальная 145  
    минимальная 145  
Контроллеры  
    ПДП 109  
    асинхронного обмена  
        параллельный канал 91  
        последовательный канал 116  
    периферийных событий 181  
    периферийных устройств 85  
    прерываний  
        микропрограммные 298  
        невекторные 97  
        векторные 105  
    синхронного обмена  
        параллельный канал 90  
        последовательный канал 113  
Конвольвер 69  
Конволюция 68

**Л**

Линии состояния 147  
Линия  
    двухпроводная 111  
    коаксиальная 111  
    оптоволоконная 111

## М

Магистраль 10  
Макрокоманда 72  
Маскирование прерываний 143  
Машинные команды 71  
Машинный такт 130  
МикроЭВМ 171  
Микрокоманда 53, 56  
Микроконтроллер 171  
Микроконвертор 302  
Микрооперация 53  
Микропроцессор 63  
Микропроцессоры  
    аналоговые 69  
    асинхронные 70  
    цифровые 69  
    многокристалльные 66  
    многомагистральные 70  
    мультипрограммные 71  
    однокристалльные 66  
    одномагистральные 70  
    однопрограммные 71  
    разрядно-модульные 67  
    секционные 67  
    синхронные 70  
    специализированные 68  
    универсальные 68  
Микропроцессорный комплект 126  
Микропрограммное устройство  
    управления 55  
Модули  
    АЦП 183  
    ЦАП 183  
    ШИМ 178  
    быстрого ввода-вывода 179  
    выходного сравнения 180  
    входного захвата 180  
Модуль  
    исходный 73, 333  
    исполняемый 74, 334  
    объектный 74, 333

загрузочный 75, 335  
Монитор  
отладочный 322  
программа 76  
Монитор питания 184

## Н

Наноккоманды 61

## О

Обмен данными  
аппаратно-управляемый 107  
асинхронный  
параллельный 91  
последовательный 111, 118  
по флагам 91  
по прерываниям 92  
программно-управляемый 89  
синхронный  
параллельный 89  
последовательный 111, 118  
Оборудование  
связное 117  
терминальное 117  
Операции  
декремент 128  
инкремент 128  
Операнд 19, 51, 81  
Оператор 81  
Отладчик 324

## П

Память данных 10  
резидентная 173  
Память команд 9  
Память программ  
резидентная 173  
Параграф 156

Первичный управляющий автомат 54  
Плата развития 321  
Подпрограммы  
глубина вложенности 281  
параметризуемые 281  
вложенные 281  
Подсистема точек останова 326  
Поле микрокоманды 56  
Поллинг  
аппаратный 101  
программный 98, 99  
Порт 10  
Посылка 114  
Прерывания  
маскируемые 94  
немаскируемые 94  
невекторные 96  
векторные 96  
многоуровневые 104  
вложенные 103  
Приемник линии 119  
Принципы  
фон Неймана 17  
магистрально-модульной организации связей 9  
микропрограммного управления 53  
программного управления 9  
Приоритет  
абсолютный 95  
адресуемый 107  
циклический 106  
круговой 106  
относительный 95  
Процессор событий 181, 295  
Процессор точек останова 326  
Профилировщик 327  
Программа 10  
Программируемые логические матрицы 317  
Программируемый счетный массив 181  
Программистская модель 137



Программное обеспечение  
    кросс 77  
    резидентное 76  
    внешнее 76  
Прямой доступ к памяти 107

## **Р**

Редактор связей 74, 333  
Регистры  
    МК51  
        специальных функций 236,  
            275  
    ACC 278  
    DPH 237  
    DPL 237  
    DPTR 237  
    IE 239  
    IP 239  
    PCON 239, 256  
    PSW 236  
    SBUF 239, 252  
    SCON 239, 253  
    SP 236  
    TCON 239  
    TH0 239  
    TH1 239  
    TL0 239  
    TL1 239, 249  
    TMOD 239  
аккумулятор 50, 65  
автодекрементные 109  
автоинкрементные 109  
данных 90  
флагов 51  
команд 65  
микрокоманд 53  
накопитель 50  
общего назначения 50, 65  
признаков 50, 51, 65  
признаков состояния 91  
счетчик команд 65  
сдвига 50, 51

PISO 113  
указатель стека 65  
вектора прерываний 97  
выходного сравнения 180  
времени события 179  
временного хранения 50, 51  
запросов прерываний 99  
защелки 87  
T2CON 307

Регистровый файл 173

Режим

    дуплексный 111, 117  
    полудуплексный 111, 121  
    симплексный 111

Режимы МКС

    Binary mode 289  
    Source mode 289

## **С**

Счетчик внешних событий 177

Сдвиги

    арифметические 51  
    циклические 52  
    линейные 51  
    логические 51  
    влево 51  
    вправо 51

Сегмент 154, 340

    абсолютный 340  
    битовых данных 340  
    блочный 340  
    частный 340  
    данных 155  
        внешних 341  
    данных РПД  
        косвенный адрес 341  
        прямой адрес 341  
    данных битов 341  
    дополнительный 155  
    кода 155  
    оверлейный 340  
    программ 341

- родовой 340
  - стека 155, 341
  - страничный 340
  - Схемы
    - комбинационные 5
    - последовательностные 5, 6
    - выходов 7
    - возбуждения 7
  - Сигналы
    - МК51
      - Запись в буфер 257
      - ALE 245
      - INT0 251
      - INT1 249
      - PSEN 245
      - RD 245
      - RST 237, 242
      - WR 245
    - квитирования 90, 118
    - подтверждения ПДП 108
    - подтверждения прерывания 93
    - требования ПДП 108
    - вывода 86
    - ввода 86
    - запроса на обслуживание 92
    - запроса прерывания 93
    - i8080
      - RC 129
      - RDY 129
      - SYN 130
      - TR 129
      - WI 129
  - Симулятор программный 320
  - Синхронизация
    - внешняя 112
    - внутренняя 112
  - Система
    - инструментальная 77
    - команд 10
    - кросс 77
    - операционная 77
    - развития 77
    - счисления 77
  - Системный контроллер 133
  - Слово 6
  - Слово состояния процессора 130
  - Смещение 155
  - Старт-бит 114
  - Стоп-бит 114
  - Сторожевой таймер 184
  - Строка данных 145
  - Супервизор питания 184
- ## Т
- Таблицы
    - истинности 5
    - переключений 7
    - ссылок 334
  - Таймер/счетчик 177
  - Теорема
    - Котельникова 69
    - 20/80, 22
  - Тетрада 6
  - Точка возврата 97, 137
  - Токовая петля 111
  - Транзакция 124
  - Трассировщик 327
- ## У
- УАПП 116, 252
  - УСАПП 116
  - Управление
    - микропрограммное 53
    - программное 9
  - Устройства
    - арифметико-логические 10, 52, 65
    - интерфейсные 66
    - обработки 9, 50
    - операционные 146
    - периферийные 10
    - с фиксированными функциями 5, 8

с программно-управляемыми  
    функциями 5, 8, 9  
управления 9, 54  
управления каналом 146  
    ввода-вывода 86  
Узел эмуляции МК 325

## **Ф**

Физический адрес 155  
Флаги  
    МК51  
    TF0 251  
    TF1 249

## **Ц**

Цепочка данных 145  
Цикл  
    командный 130  
    машинный 130  
    шины 146, 147

## **Ш**

Шифратор приоритета 100  
Шина 10  
Шины  
    адреса 14, 125  
    данных 15  
    демультиплексные 173  
    мультиплексные 173

    общие 11  
    управления 14  
Шинный формирователь 11, 13  
Широтно-импульсные  
    модуляция 172  
    модулятор 178

## **Э**

Эмуляционная память 326  
Эмулятор ПЗУ 323  
Эмулятор внутрисхемный 315

## **Я**

Язык ASM-51  
    Директивы  
        EXTRN 334  
        PUBLIC 334  
Идентификатор 337  
Комментарий 337  
Метка 335  
Операция 336  
Операнд 336  
Оператор 335  
Символы 337  
    ключевые слова 338  
    литеральная константа 339  
    определяемые имена 339  
    встроенные имена 339  
Языки  
    ассемблера 72

## Приложение 1. СИСТЕМА КОМАНД МП i8080

| Команда                  | Описание                                             | Б | Z | S | P | C | Ac |
|--------------------------|------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|----|
| Команды пересылки данных |                                                      |   |   |   |   |   |    |
| MOV D,S                  | (D) $\leftarrow$ (S)                                 | 1 | - | - | - | - | -  |
| MVI D,data               | (D) $\leftarrow$ data                                | 2 | - | - | - | - | -  |
| LXI rp,data              | (rp) $\leftarrow$ data                               | 3 | - | - | - | - | -  |
| LDA addr                 | (A) $\leftarrow$ (addr)                              | 3 | - | - | - | - | -  |
| STA addr                 | (addr) $\leftarrow$ (A)                              | 3 | - | - | - | - | -  |
| LHLD addr                | (L) $\leftarrow$ (addr); (H) $\leftarrow$ (addr+1)   | 3 | - | - | - | - | -  |
| SHLD addr                | (addr) $\leftarrow$ (L); (addr+1) $\leftarrow$ (H)   | 3 | - | - | - | - | -  |
| LDAX rp                  | (A) $\leftarrow$ ((rp))                              | 1 | - | - | - | - | -  |
| STAX rp                  | ((rp)) $\leftarrow$ (A)                              | 1 | - | - | - | - | -  |
| XCHG                     | (H) $\leftrightarrow$ (D); (L) $\leftrightarrow$ (E) | 1 | - | - | - | - | -  |
| Арифметические команды   |                                                      |   |   |   |   |   |    |
| ADD S                    | (A) $\leftarrow$ (A)+(S)                             | 1 | + | + | + | + | +  |
| ADI data                 | (A) $\leftarrow$ (A)+data                            | 2 | + | + | + | + | +  |
| ADC S                    | (A) $\leftarrow$ (A)+(S)+(C)                         | 1 | + | + | + | + | +  |
| ACI data                 | (A) $\leftarrow$ (A)+data+(C)                        | 2 | + | + | + | + | +  |
| DAD rp                   | (HL) $\leftarrow$ (HL)+(rp)                          | 1 | - | - | - | + | -  |
| SUB S                    | (A) $\leftarrow$ (A)-(S)                             | 2 | + | + | + | + | +  |
| SUI data                 | (A) $\leftarrow$ (A)-data                            | 2 | + | + | + | + | +  |
| SBB S                    | (A) $\leftarrow$ (A)-(S)-(C)                         | 1 | + | + | + | + | +  |
| SBI data                 | (A) $\leftarrow$ (A)-data-(C)                        | 2 | + | + | + | + | +  |
| INR D                    | (D) $\leftarrow$ (D)+1                               | 1 | + | + | + | + | +  |
| INX rp                   | (rp) $\leftarrow$ (rp)+1                             | 1 | - | - | - | - | -  |
| DCR D                    | (D) $\leftarrow$ (D)-1                               | 1 | + | + | + | - | +  |
| DCR rp                   | (rp) $\leftarrow$ (rp)-1                             | 1 | - | - | - | - | -  |
| DAA                      | Десятичная коррекция                                 | 1 | + | + | + | + | +  |
| Логические команды       |                                                      |   |   |   |   |   |    |
| ANA S                    | (A) $\leftarrow$ (A) $\wedge$ (S)                    | 1 | + | + | + | 0 | +  |
| ANI data                 | (A) $\leftarrow$ (A) $\wedge$ data                   | 2 | + | + | + | 0 | +  |
| XRA S                    | (A) $\leftarrow$ (A) $\oplus$ (S)                    | 1 | + | + | + | 0 | 0  |
| XRI data                 | (A) $\leftarrow$ (A) $\oplus$ data                   | 2 | + | + | + | 0 | 0  |
| ORA S                    | (A) $\leftarrow$ (A) $\vee$ (S)                      | 1 | + | + | + | 0 | 0  |
| ORI data                 | (A) $\leftarrow$ (A) $\vee$ data                     | 2 | + | + | + | 0 | 0  |
| CMP S                    | (A)-(S)                                              | 1 | + | + | + | + | +  |
| CPI data                 | (A)-data                                             | 2 | + | + | + | + | +  |
| RAR                      | рис. 1.31, c                                         | 1 | - | - | - | + | -  |
| RAL                      | рис. 1.31, d                                         | 1 | - | - | - | + | -  |

|                             |          |                                                                                              |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| RRC                         |          | рис. 1.31, <i>e</i>                                                                          | 1 | – | – | – | + | – |
| RLC                         |          | рис. 1.31, <i>f</i>                                                                          | 1 | – | – | – | + | – |
| STC                         |          | $(C) \leftarrow 1$                                                                           | 1 | – | – | – | + | – |
| CMC                         |          | $(C) \leftarrow \overline{(C)}$                                                              | 1 | – | – | – | + | – |
| CMA                         |          | $(A) \leftarrow \overline{(A)}$                                                              | 1 | – | – | – | – | – |
| Команды передачи управления |          |                                                                                              |   |   |   |   |   |   |
| JMP                         | addr     | $(PC) \leftarrow \text{addr}$                                                                | 3 | – | – | – | – | – |
| Jcond                       | addr     | JMP addr, если условие (cond) в поле ссс истинно                                             | 3 | – | – | – | – | – |
| CALL                        | addr     | $((SP-1)) \leftarrow (PCH)$ ;<br>$((SP-2)) \leftarrow (PCL)$ ; $(PC) \leftarrow \text{addr}$ | 3 | – | – | – | – | – |
| Ccond                       | addr     | CALL addr, если условие (cond) в поле ссс истинно                                            | 3 | – | – | – | – | – |
| RET                         |          | $(PCL) \leftarrow [SP-2]$ ; $(PCH) \leftarrow [SP-1]$                                        | 1 | – | – | – | – | – |
| Rcond                       |          | RET, если условие (cond) в поле ссс истинно                                                  | 1 | – | – | – | – | – |
| PCHL                        |          | $(PC) \leftarrow (HL)$                                                                       | 1 | – | – | – | – | – |
| RST                         | <i>n</i> | $(PC) \leftarrow 8 \times n$                                                                 | 1 | – | – | – | – | – |
| Команды прочие              |          |                                                                                              |   |   |   |   |   |   |
| IN                          | port     | $(A) \leftarrow (\text{port})$                                                               | 2 | – | – | – | – | – |
| OUT                         | port     | $(\text{port}) \leftarrow (A)$                                                               | 2 | – | – | – | – | – |
| PUSH                        | rp       | $[SP-1] \leftarrow (rpH)$ ; $[SP-2] \leftarrow (rpL)$                                        | 1 | – | – | – | – | – |
| PUSH                        | PSW      | $[SP-1] \leftarrow (A)$ ; $[SP-2] \leftarrow (F)$                                            | 1 | – | – | – | – | – |
| POP                         | rp       | $(rpL) \leftarrow [SP-2]$ ; $(rpH) \leftarrow [SP-1]$                                        | 1 | – | – | – | – | – |
| POP                         | PSW      | $(F) \leftarrow [SP-2]$ ; $(A) \leftarrow [SP-1]$                                            | 1 | + | + | + | + | + |
| XTHL                        |          | $(HL) \leftrightarrow [SP]$                                                                  | 1 | – | – | – | – | – |
| SPHL                        |          | $(SP) \leftarrow (HL)$                                                                       | 1 | – | – | – | – | – |
| EI                          |          | $INTE \leftarrow 1$                                                                          | 1 | – | – | – | – | – |
| DI                          |          | $INTE \leftarrow 0$                                                                          | 1 | – | – | – | – | – |
| NOP                         |          | Нет операции                                                                                 | 1 | – | – | – | – | – |
| HLT                         |          | Останов                                                                                      | 1 | – | – | – | – | – |

**Примечание.** Условные обозначения: Б – формат команды в байтах; Z, S, P, C, Ac – биты регистра признаков; D, S (Destination, Source) – регистры приемника и источника данных (A, B, C, D, E, H, L, M); addr – два байта адреса; data – один или два байта данных; rp – регистровая пара (BC, DE, HL или SP); rpL и rpH – младший и старший байты регистровой пары; PCL и PCH – младший и старший байты PC; port – один байт адреса порта; (...) – содержимое ячейки памяти или регистра; ((SP)) – содержимое ячейки стековой памяти; *n* – номер команды рестарта ( $n = 1 \dots 7$ ); ссс – трехбитный код признака.

## Приложение 2. СИСТЕМА КОМАНД МП i8086

| Команда                         | Описание                                              | Б   |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-----|
| 1                               | 2                                                     | 3   |
| <b>Команды пересылки данных</b> |                                                       |     |
| MOV dest,src                    | (dest = sr/r/m) $\leftarrow$ (src = imd/sr/r/m)       | 2-6 |
| XCHG dest,src                   | (dest = r/m) $\leftrightarrow$ (src = r)              | 2-4 |
| XLAT                            | (AL) $\leftarrow$ ES:[BX + (AL)]                      | 1   |
| LEA reg16,m                     | reg16 $\leftarrow$ EA                                 | 2-4 |
| LDS reg16,m                     | reg16 $\leftarrow$ [m]; DS $\leftarrow$ [m+2]         | 2-4 |
| LES reg16,m                     | reg16 $\leftarrow$ [m]; ES $\leftarrow$ [m+2]         | 2-4 |
| LAHF                            | AH $\leftarrow$ FL                                    | 1   |
| SAHF                            | FL $\leftarrow$ AH                                    | 1   |
| PUSH src                        | [SS:SP] $\leftarrow$ (src = sr/reg16/mem16)           | 1-4 |
| PUSHF                           | [SS:SP] $\leftarrow$ F                                | 1   |
| POP dst                         | (dst = sr/reg16/mem16) $\leftarrow$ [SS:SP]           | 1-4 |
| POPF                            | F $\leftarrow$ [SS:SP]                                | 1   |
| IN AL,P8                        | AL $\leftarrow$ Port(P8)                              | 2   |
| IN AL,DX                        | AL $\leftarrow$ Port([DX])                            | 1   |
| IN AX,P8                        | AX $\leftarrow$ Port(P8)                              | 2   |
| IN AX,DX                        | AX $\leftarrow$ Port([DX])                            | 1   |
| OUT P8,AL                       | Port(P8) $\leftarrow$ AL                              | 2   |
| OUT DX,AL                       | Port([DX]) $\leftarrow$ AL                            | 1   |
| OUT P8,AX                       | Port(P8) $\leftarrow$ AX                              | 2   |
| OUT DX,AX                       | Port([DX]) $\leftarrow$ AX                            | 1   |
| <b>Арифметические команды</b>   |                                                       |     |
| ADD dest,src                    | (dest = r/m) $\leftarrow$ dest + (src = imd/r/m)      | 2-5 |
| ADC dest,src                    | (dest = r/m) $\leftarrow$ dest + (src = imd/r/m) + CF | 2-5 |
| INC r/m                         | (r/m) $\leftarrow$ (r/m) + 1                          | 2-4 |
| AAA                             | Коррекция сложения распак. ДДК                        | 1   |
| DAA                             | Коррекция сложения упаков. ДДК                        | 1   |
| SUB dest,src                    | (dest = r/m) $\leftarrow$ dest - (src = imd/r/m)      | 2-6 |
| SBB dest,src                    | (dest = r/m) $\leftarrow$ dest - (src = imd/r/m) - CF | 2-6 |
| DEC r/m                         | (r/m) $\leftarrow$ (r/m) - 1                          | 2-4 |
| NEG r/m                         | (r/m) $\leftarrow$ (-r/m)                             | 2-4 |
| CMP dest,src                    | F $\leftarrow$ (dest = r/m) - (src = imd/r/m)         | 2-6 |
| AAS                             | Коррекция вычитания распак. ДДК                       | 1   |
| DAS                             | Коррекция вычитания упаков. ДДК                       | 1   |
| MUL src                         | AX $\leftarrow$ AL $\times$ (src = reg8, mem8)        | 2-4 |
| MUL src                         | DX_AX $\leftarrow$ AX $\times$ (src = reg16, mem16)   | 2-4 |
| IMUL src                        | AX $\leftarrow$ AL $\times$ (src = reg8, mem8)        | 2-4 |

| 1                                 | 2                                                            | 3   |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
| IMUL src                          | $DX\_AX \leftarrow AX \times (src = \text{reg16, mem16})$    | 2-4 |
| AAM                               | Коррекция умножения распак. ДДК                              | 2   |
| DIV src                           | $AL (+AH) \leftarrow AX : (src = \text{reg8, mem8})$         | 2-4 |
| DIV src                           | $AX (+DX) \leftarrow DX\_AX : (src = \text{reg16, mem16})$   | 2-4 |
| IDIV src                          | $AL (+AH) \leftarrow AX : (src = \text{reg8, mem8})$         | 2-4 |
| IDIV src                          | $AX (+DX) \leftarrow DX\_AX : (src = \text{reg16, mem16})$   | 2-4 |
| AAD                               | Коррекция деления распак. ДДК                                | 2   |
| CWB                               | $AH \leftarrow (AL.7)$                                       | 1   |
| CWD                               | $DX \leftarrow (AX.15)$                                      | 1   |
| Логические команды                |                                                              |     |
| NOT r/m                           | $(r/m) \leftarrow (r/m)$                                     | 2-4 |
| AND dest,src                      | $(dest = r/m) \leftarrow dest \wedge (src = \text{imd/r/m})$ | 2-6 |
| OR dest,src                       | $(dest = r/m) \leftarrow dest \vee (src = \text{imd/r/m})$   | 2-6 |
| XOR dest,src                      | $(dest = r/m) \leftarrow dest \oplus (src = \text{imd/r/m})$ | 2-6 |
| TEST dest,src                     | $F \leftarrow (dest = r/m) \wedge (src = \text{imd/r/m})$    | 2-6 |
| Команды сдвигов (src = reg8/mem8) |                                                              |     |
| RCL src,1                         | рис. 1.31, <i>f</i> , сдвиг влево на 1 поз.                  | 2   |
| RCR src,1                         | рис. 1.31, <i>e</i> , сдвиг вправо на 1 поз.                 | 2   |
| RCL src,CL                        | рис. 1.31, <i>f</i> , сдвиг влево на CL поз.                 | 2   |
| RCR src,CL                        | рис. 1.31, <i>e</i> , сдвиг вправо на CL поз.                | 2   |
| ROL src,1                         | рис. 1.31, <i>d</i> , сдвиг влево на 1 поз.                  | 2-4 |
| ROR src,1                         | рис. 1.31, <i>c</i> , сдвиг вправо на 1 поз.                 | 2-4 |
| ROL src,CL                        | рис. 1.31, <i>d</i> , сдвиг влево на CL поз.                 | 2-4 |
| ROR src,CL                        | рис. 1.31, <i>c</i> , сдвиг вправо на CL поз.                | 2-4 |
| SAL src,1                         | Арифм. сдвиг влево на 1 поз.                                 | 2-4 |
| SAR src,1                         | Арифм. сдвиг вправо на 1 поз.                                | 2-4 |
| SAL src,CL                        | Арифм. сдвиг влево на CL поз.                                | 2-4 |
| SAR src,CL                        | Арифм. сдвиг вправо на CL поз.                               | 2-4 |
| SHL src,1                         | Логич. сдвиг влево на 1 поз.                                 | 2-4 |
| SHR src,1                         | Логич. сдвиг вправо на 1 поз.                                | 2-4 |
| SHL src,CL                        | Логич. сдвиг влево на CL поз.                                | 2-4 |
| SHR src,CL                        | Логич. сдвиг вправо на CL поз.                               | 2-4 |
| Строковые команды                 |                                                              |     |
| MOVSB                             | $ES:[DI] \leftarrow DS:[SI]$ (байт)                          | 1   |
| MOVSW                             | $ES:[DI] \leftarrow DS:[SI]$ (слово)                         | 1   |
| LODSB                             | $AL \leftarrow DS:[SI]$ (байт)                               | 1   |
| LODSW                             | $AX \leftarrow DS:[SI]$ (слово)                              | 1   |
| STOSB                             | $DS:[SI] \leftarrow AL$ (байт)                               | 1   |
| STOSW                             | $DS:[SI] \leftarrow AX$ (слово)                              | 1   |
| CMPSB                             | $F \leftarrow ES:[DI] - DS:[SI]$ (байт)                      | 1   |

| 1                           | 2                                                                                                                                                                                                          | 3   |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CMPSB                       | $F \leftarrow ES:[DI] - DS:[SI]$ (слово)                                                                                                                                                                   | 1   |
| SCADB                       | $F \leftarrow DS:[SI] - AL$ (байт)                                                                                                                                                                         | 1   |
| SCADW                       | $F \leftarrow DS:[SI] - AX$ (слово)                                                                                                                                                                        | 1   |
| Префиксы строковых команд   |                                                                                                                                                                                                            |     |
| REP                         | Повторения команд при $CX \neq 0$                                                                                                                                                                          | 1   |
| REPE                        | Повторение при $ZF = 1 \ \& \ CX \neq 0$                                                                                                                                                                   | 1   |
| REPZ                        | Повторение при $ZF = 1 \ \& \ CX = 0$                                                                                                                                                                      | 1   |
| REPNE                       | Повторение при $ZF = 0 \ \& \ CX \neq 0$                                                                                                                                                                   | 1   |
| REPZ                        | Повторение при $ZF = 0 \ \& \ CX = 0$                                                                                                                                                                      | 1   |
| Команды передачи управления |                                                                                                                                                                                                            |     |
| JMP adr                     | $IP \leftarrow IP + (adr = disp16)$                                                                                                                                                                        | 3   |
| JMP NEAR adr                | $IP \leftarrow IP + (adr = disp8)$                                                                                                                                                                         | 2   |
| JMP r/m                     | $IP \leftarrow IP + r/m$                                                                                                                                                                                   | 2-4 |
| JMP FAR adr                 | $IP \leftarrow offset \ adr; CS \leftarrow seg \ adr$                                                                                                                                                      | 5   |
| JMP FAR m                   | $IP \leftarrow [m]; CS \leftarrow [m + 2]$                                                                                                                                                                 | 2-4 |
| J(cond) adr                 | Переход, если (cond) истинно                                                                                                                                                                               | 2   |
| LOOP adr                    | Цикл: $CX \leftarrow CX - 1$ и переход, если $CX \neq 0$                                                                                                                                                   | 2   |
| LOOPE adr                   | Цикл: $CX \leftarrow CX - 1$ и переход, если ( $CX \neq 0$ и $ZF = 1$ )                                                                                                                                    | 2   |
| LOOPZ adr                   | Цикл: $CX \leftarrow CX - 1$ и переход, если ( $CX \neq 0$ и $ZF = 1$ )                                                                                                                                    | 2   |
| LOOPNE adr                  | Цикл: $CX \leftarrow CX - 1$ и переход, если ( $CX \neq 0$ и $ZF = 0$ )                                                                                                                                    | 2   |
| LOOPNZ adr                  | Цикл: $CX \leftarrow CX - 1$ и переход, если ( $CX \neq 0$ и $ZF = 0$ )                                                                                                                                    | 2   |
| CALL NEAR adr               | $SP \leftarrow SP - 2; [SS:SP] \leftarrow IP$<br>$IP \leftarrow (adr = r/m/disp16)$                                                                                                                        | 3   |
| CALL FAR adr32              | $IP \leftarrow offset(adr32); CS \leftarrow seg(adr32)$                                                                                                                                                    | 5   |
| CALL FAR m                  | $SP \leftarrow SP - 2; [SS:SP] \leftarrow CS$<br>$SP \leftarrow SP - 2; [SS:SP] \leftarrow IP$<br>$IP \leftarrow [m]; CS \leftarrow [m + 2]$                                                               | 2-4 |
| RET                         | $IP \leftarrow [SS:SP]; SP \leftarrow SP + 2$                                                                                                                                                              | 1   |
| RET NEAR                    | RET                                                                                                                                                                                                        | 1   |
| RET FAR                     | $IP \leftarrow [SS:SP]; SP \leftarrow SP + 2$<br>$CS \leftarrow [SS:SP]; SP \leftarrow SP + 2$                                                                                                             | 1   |
| INT n                       | $SP \leftarrow SP - 2; [SS:SP] \leftarrow F; SP \leftarrow SP - 2;$<br>$[SS:SP] \leftarrow CS; SP \leftarrow SP - 2; [SS:SP] \leftarrow IP;$<br>$IP \leftarrow [0000:(4n)]; CS \leftarrow [0000:(4n + 2)]$ | 2   |
| INT 3                       | Программное прерывание $n = 3$                                                                                                                                                                             | 2   |
| INTO                        | Программное прерывание $n = 4$                                                                                                                                                                             | 2   |
| IRET                        | Возврат из прерывания:                                                                                                                                                                                     | 1   |



| 1                                | 2                                                                                                                                              | 3        |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                  | $IP \leftarrow [SS:SP]; SP \leftarrow SP + 2$<br>$CS \leftarrow [SS:SP]; SP \leftarrow SP + 2$<br>$F \leftarrow [SS:SP]; SP \leftarrow SP + 2$ | 1        |
| Команды управления состоянием МП |                                                                                                                                                |          |
| CLC                              | $CF \leftarrow 0$                                                                                                                              | 1        |
| CMC                              | $CF \leftarrow \overline{CF}$                                                                                                                  | 1        |
| STC                              | $CF \leftarrow 1$                                                                                                                              | 1        |
| CLD                              | $DF \leftarrow 0$                                                                                                                              | 1        |
| STD                              | $DF \leftarrow 1$                                                                                                                              | 1        |
| CLI                              | $IF \leftarrow 0$                                                                                                                              | 1        |
| STI                              | $IF \leftarrow 1$                                                                                                                              | 1        |
| HLT                              | Останов МП                                                                                                                                     | 1        |
| WAIT                             | Ожидание сигнала на линии TEST                                                                                                                 | 1        |
| ESC    msk/m                     | Передача кода команды msk или кода и операнда m сопроцессору                                                                                   | 2<br>2-4 |
| LOCK                             | Префикс блокировки шины на время выполнения следующей команды                                                                                  | 1        |
| NOP                              | Нет операции                                                                                                                                   | 1        |

**Примечание.** Условные обозначения: Б – формат команды в байтах; sr – сегментный регистр; r – 8/16-разрядный регистр общего назначения; reg16 – 16-разрядный регистр; reg8 – 8-разрядный регистр; m – 8/16-разрядный операнд в памяти; mem16 – 16-разрядное слово в памяти; mem8 – байт в памяти; dest – операнд-назначение; src – операнд-источник; imd – непосредственный операнд; Port(P8) – порт с 8-разрядным адресом P8; Port([DX]) – порт с 16-разрядным адресом, заданным в регистре DX; adr – 8/16/32-разрядный адрес; adr32 – 32 разрядный адрес, n – номер вектора прерывания, mks – код следующей команды; ДДК – двоично-десятичный код; disp8/16 – 8/16-разрядное смещение.

## Приложение 3. СИСТЕМА КОМАНД MCS-51

| Название команды                                   | Мнемокод        | Т  | Б | Ц | Операция                                                 |
|----------------------------------------------------|-----------------|----|---|---|----------------------------------------------------------|
| 1                                                  | 2               | 3  | 4 | 5 | 6                                                        |
| Группа команд передачи данных                      |                 |    |   |   |                                                          |
| Пересылка в А из регистра Rn ( $n=0\div 7$ )       | MOV A, Rn       | 1  | 1 | 1 | (A) $\leftarrow$ (Rn)                                    |
| Пересылка в А прямоадресуемого байта               | MOV A, ad       | 3  | 2 | 1 | (A) $\leftarrow$ (ad)                                    |
| Пересылка в А байта из РПД ( $i=0,1$ )             | MOV A, @Ri      | 1  | 1 | 1 | (A) $\leftarrow$ [Ri]                                    |
| Загрузка в А константы #d                          | MOV A, #d       | 2  | 2 | 1 | (A) $\leftarrow$ #d                                      |
| Пересылка в регистр Rn из А                        | MOV Rn, A       | 1  | 1 | 1 | (Rn) $\leftarrow$ (A)                                    |
| Пересылка в регистр Rn прямоадресуемого байта      | MOV Rn, ad      | 3  | 2 | 2 | (Rn) $\leftarrow$ (ad)                                   |
| Загрузка в регистр Rn константы #d                 | MOV Rn, #d      | 2  | 2 | 1 | (Rn) $\leftarrow$ #d                                     |
| Пересылка А по прямому адресу                      | MOV ad, A       | 3  | 2 | 1 | (ad) $\leftarrow$ (A)                                    |
| Пересылка Rn по прямому адресу                     | MOV ad, Rn      | 3  | 2 | 2 | (ad) $\leftarrow$ (Rn)                                   |
| Пересылка прямоадресуемого байта по прямому адресу | MOV add, ads    | 9  | 3 | 2 | (add) $\leftarrow$ (ads)                                 |
| Пересылка байта РПД по прямому адресу              | MOV ad, @Ri     | 3  | 2 | 2 | (ad) $\leftarrow$ [Ri]                                   |
| Пересылка константы по прямому адресу              | MOV ad, #d      | 7  | 3 | 2 | (ad) $\leftarrow$ #d                                     |
| Пересылка в РПД из аккумулятора                    | MOV @Ri, A      | 1  | 1 | 1 | [Ri] $\leftarrow$ (A)                                    |
| Пересылка в РПД прямоадресуемого байта             | MOV @Ri, ad     | 3  | 2 | 2 | [Ri] $\leftarrow$ (ad)                                   |
| Пересылка в РПД константы                          | MOV @Ri, #d     | 2  | 2 | 1 | [Ri] $\leftarrow$ #d                                     |
| Загрузка DPTR                                      | MOV DPTR, #d16  | 13 | 3 | 2 | (DPTR) $\leftarrow$ #d16                                 |
| Пересылка в аккумулятор байта из ПП                | MOVC A, @A+DPTR | 1  | 1 | 2 | (A) $\leftarrow$ [A + DPTR]                              |
| Пересылка в аккумулятор байта из ПП                | MOVC A, @A+PC   | 1  | 1 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC) + 1,<br>(A) $\leftarrow$ [A + PC] |
| Пересылка в аккумулятор байта из ВПД               | MOVX A, @Ri     | 1  | 1 | 2 | (A) $\leftarrow$ [Ri]                                    |
| Пересылка в А байта из ВПД                         | MOVX A, @DPTR   | 1  | 1 | 2 | (A) $\leftarrow$ [DPTR]                                  |

Приложение 3. Система команд MCS-51

| 1                                                               | 2             | 3 | 4 | 5 | 6                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------|---------------|---|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пересылка в ВПД из аккумулятора                                 | MOVX @Ri, A   | 1 | 1 | 2 | [Ri]←(A)                                                                                                                                                                  |
| Пересылка в расширенную ВПД из A                                | MOVX @DPTR, A | 1 | 1 | 2 | [DPTR]←(A)                                                                                                                                                                |
| Загрузка в стек                                                 | PUSH ad       | 3 | 2 | 2 | (SP)←(SP) + 1,<br>[SP]←(ad)                                                                                                                                               |
| Извлечение из стека                                             | POP ad        | 3 | 2 | 2 | (ad)←[SP],<br>(SP)←(SP) - 1                                                                                                                                               |
| Обмен аккумулятора с регистром                                  | XCH A, Rn     | 1 | 1 | 1 | (A)↔(Rn)                                                                                                                                                                  |
| Обмен аккумулятора с прямоадресуемым байтом                     | XCH A, ad     | 5 | 2 | 1 | (A)↔(ad)                                                                                                                                                                  |
| Обмен аккумулятора с байтом из РПД                              | XCH A, @Ri    | 1 | 1 | 1 | (A)↔[Ri]                                                                                                                                                                  |
| Обмен младшей тетрады аккумулятора с младшей тетрадой байта РПД | XCHD A, @Ri   | 1 | 1 | 1 | (A <sub>0-3</sub> )↔(Ri) <sub>0-3</sub>                                                                                                                                   |
| Группа команд арифметических операций                           |               |   |   |   |                                                                                                                                                                           |
| Сложение аккумулятора с регистром (n=0÷7)                       | ADD A, Rn     | 1 | 1 | 1 | (A)←(A)+(Rn)                                                                                                                                                              |
| Сложение аккумулятора с прямоадресуемым байтом                  | ADD A, ad     | 3 | 2 | 1 | (A)←(A)+(ad)                                                                                                                                                              |
| Сложение аккумулятора с байтом из РПД (i=0,1)                   | ADD A, @Ri    | 1 | 1 | 1 | (A)←(A)+[Ri]                                                                                                                                                              |
| Сложение аккумулятора с константой                              | ADD A, #d     | 2 | 2 | 1 | (A)←(A)+#d                                                                                                                                                                |
| Сложение аккумулятора с регистром и переносом                   | ADDC A, Rn    | 1 | 1 | 1 | (A)←(A)+(Rn)+(C)                                                                                                                                                          |
| Сложение аккумулятора с прямоадресуемым байтом и переносом      | ADDC A, ad    | 3 | 2 | 1 | (A)←(A)+(ad)+(C)                                                                                                                                                          |
| Сложение аккумулятора с байтом из РПД и переносом               | ADDC A, @Ri   | 1 | 1 | 1 | (A)←(A)+[Ri]+(C)                                                                                                                                                          |
| Сложение аккумулятора с константой и переносом                  | ADDC A, #d    | 2 | 2 | 1 | (A)←(A)+#d+(C)                                                                                                                                                            |
| Десятичная коррекция аккумулятора                               | DA A          | 1 | 1 | 1 | Если (A <sub>0-3</sub> )>9∨((AC)=1), то (A <sub>0-3</sub> )←(A <sub>0-3</sub> )+6; затем если (A <sub>4-7</sub> )>9∨((C)=1), то (A <sub>4-7</sub> )←(A <sub>4-7</sub> )+6 |

| 1                                                        | 2           | 3 | 4 | 5 | 6                                  |
|----------------------------------------------------------|-------------|---|---|---|------------------------------------|
| Вычитание из аккумулятора регистра и заема               | SUBB A, Rn  | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) - (Rn) - (C)$  |
| Вычитание из аккумулятора прямоадресуемого байта и заема | SUBB A, ad  | 3 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) - (ad) - C$    |
| Вычитание из аккумулятора байта РПД и заема              | SUBB A, @Ri | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) - [Ri] - C$    |
| Вычитание из аккумулятора константы и заема              | SUBB A, #d  | 2 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) - \#d - (C)$   |
| Инкремент аккумулятора                                   | INC A       | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) + 1$           |
| Инкремент регистра                                       | INC Rn      | 1 | 1 | 1 | $(Rn) \leftarrow (Rn) + 1$         |
| Инкремент прямоадресуемого байта                         | INC ad      | 3 | 2 | 1 | $(ad) \leftarrow (ad) + 1$         |
| Инкремент байта в РПД                                    | INC @Ri     | 1 | 1 | 1 | $[Ri] \leftarrow [Ri] + 1$         |
| Инкремент указателя данных                               | INC DPTR    | 1 | 1 | 2 | $(DPTR) \leftarrow (DPTR) + 1$     |
| Декремент аккумулятора                                   | DEC A       | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) - 1$           |
| Декремент регистра                                       | DEC Rn      | 1 | 1 | 1 | $(Rn) \leftarrow (Rn) - 1$         |
| Декремент прямоадресуемого байта                         | DEC ad      | 3 | 2 | 1 | $(ad) \leftarrow (ad) - 1$         |
| Декремент байта в РПД                                    | DEC @Ri     | 1 | 1 | 1 | $[Ri] \leftarrow [Ri] - 1$         |
| Умножение аккумулятора на регистр В                      | MUL AB      | 1 | 1 | 4 | $(B)(A) \leftarrow (A) \times (B)$ |
| Деление аккумулятора на регистр В                        | DIV AB      | 1 | 1 | 4 | $(A).(B) \leftarrow (A) \% (B)$    |
| Группа команд логических операций                        |             |   |   |   |                                    |
| Логическое И аккумулятора и регистра                     | ANL A, Rn   | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \wedge (Rn)$   |
| Логическое И аккумулятора и прямоадресуемого байта       | ANL A, ad   | 3 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \wedge (ad)$   |
| Логическое И аккумулятора и байта из РПД                 | ANL A, @Ri  | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \wedge [Ri]$   |
| Логическое И аккумулятора и константы                    | ANL A, #d   | 2 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \wedge \#d$    |
| Логическое И прямоадресуемого байта и аккумулятора       | ANL ad, A   | 3 | 2 | 1 | $(ad) \leftarrow (ad) \wedge (A)$  |
| Логическое И прямоадресуемого байта и константы          | ANL ad, #d  | 7 | 3 | 2 | $(ad) \leftarrow (ad) \wedge \#d$  |
| Логическое ИЛИ аккумулятора и регистра                   | ORL A, Rn   | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee (Rn)$     |

Приложение 3. Система команд MCS-51

| 1                                                     | 2          | 3 | 4 | 5 | 6                                                                                    |
|-------------------------------------------------------|------------|---|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Логическое ИЛИ аккумулятора и прямоадресуемого байта  | ORL A, ad  | 3 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee (ad)$                                                       |
| Логическое ИЛИ аккумулятора и байта из РПД            | ORL A, @Ri | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee [Ri]$                                                       |
| Логическое ИЛИ аккумулятора и константы               | ORL A, #d  | 2 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee \#d$                                                        |
| Логическое ИЛИ прямоадресуемого байта и аккумулятора  | ORL ad, A  | 3 | 2 | 1 | $(ad) \leftarrow (ad) \vee (A)$                                                      |
| Логическое ИЛИ прямоадресуемого байта и константы     | ORL ad, #d | 7 | 3 | 2 | $(ad) \leftarrow (ad) \vee \#d$                                                      |
| Исключающее ИЛИ аккумулятора и регистра               | XRL A, Rn  | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee (Rn)$                                                       |
| Исключающее ИЛИ аккумулятора и прямоадресуемого байта | XRL A, ad  | 3 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee (ad)$                                                       |
| Исключающее ИЛИ аккумулятора и байта из РПД           | XRL A, @Ri | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee [Ri]$                                                       |
| Исключающее ИЛИ аккумулятора и константы              | XRL A, #d  | 2 | 2 | 1 | $(A) \leftarrow (A) \vee \#d$                                                        |
| Исключающее ИЛИ прямоадресуемого байта и аккумулятора | XRL ad, A  | 3 | 2 | 1 | $(ad) \leftarrow (ad) \vee (A)$                                                      |
| Исключающее ИЛИ прямоадресуемого байта и константы    | XRL ad, #d | 7 | 3 | 2 | $(ad) \leftarrow (ad) \vee \#d$                                                      |
| Сброс аккумулятора                                    | CLR A      | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow 0$                                                                   |
| Инверсия аккумулятора                                 | CPL A      | 1 | 1 | 1 | $(A) \leftarrow \overline{A}$                                                        |
| Сдвиг аккумулятора влево циклический                  | RL A       | 1 | 1 | 1 | $(A_{n+1}) \leftarrow (A_n), n=0 \div 6, (A_0) \leftarrow (A_7)$                     |
| Сдвиг аккумулятора влево через перенос                | RLC A      | 1 | 1 | 1 | $(A_{n+1}) \leftarrow (A_n), n=0 \div 6, (A_0) \leftarrow (C), (C) \leftarrow (A_7)$ |
| Сдвиг аккумулятора вправо циклический                 | RR A       | 1 | 1 | 1 | $(A_n) \leftarrow (A_{n+1}), n=0 \div 6, (A_7) \leftarrow (A_0)$                     |
| Сдвиг аккумулятора вправо через перенос               | RRC A      | 1 | 1 | 1 | $(A_n) \leftarrow (A_{n+1}), n=0 \div 6, (C) \leftarrow (A_0), (A_7) \leftarrow (C)$ |
| Обмен местами тетрад в аккумуляторе                   | SWAP A     | 1 | 1 | 1 | $(A_{0-3} \leftrightarrow A_{4-7})$                                                  |
| Группа команд операций с битами                       |            |   |   |   |                                                                                      |
| Сброс переноса                                        | CLR C      | 1 | 1 | 1 | $(C) \leftarrow 0$                                                                   |
| Сброс бита                                            | CLR bit    | 4 | 2 | 1 | $(b) \leftarrow 0$                                                                   |
| Установка переноса                                    | SETB C     | 1 | 1 | 1 | $(C) \leftarrow 1$                                                                   |
| Установка бита                                        | SETB bit   | 4 | 2 | 1 | $(b) \leftarrow 1$                                                                   |

| 1                                                         | 2    |          | 3  | 4 | 5 | 6                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------|------|----------|----|---|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Инверсия переноса                                         | CPL  | C        | 1  | 1 | 1 | $(C) \leftarrow (\bar{C})$                                                                                 |
| Инверсия бита                                             | CPL  | bit      | 4  | 2 | 1 | $(b) \leftarrow (\bar{b})$                                                                                 |
| Логическое И бита и переноса                              | ANL  | C, bit   | 4  | 2 | 2 | $(C) \leftarrow (C) \wedge (b)$                                                                            |
| Логическое И инверсии бита и переноса                     | ANL  | C, /bit  | 4  | 2 | 2 | $(C) \leftarrow (C) \wedge (\bar{b})$                                                                      |
| Логическое ИЛИ бита и переноса                            | ORL  | C, bit   | 4  | 2 | 2 | $(C) \leftarrow (C) \vee (b)$                                                                              |
| Логическое ИЛИ инверсии бита и переноса                   | ORL  | C, /bit  | 4  | 2 | 2 | $(C) \leftarrow (C) \vee (\bar{b})$                                                                        |
| Пересылка бита в перенос                                  | MOV  | C, bit   | 4  | 2 | 1 | $(C) \leftarrow (b)$                                                                                       |
| Пересылка переноса в бит                                  | MOV  | bit, C   | 4  | 2 | 2 | $(b) \leftarrow (C)$                                                                                       |
| Группа команд передачи управления                         |      |          |    |   |   |                                                                                                            |
| Длинный переход в полном объеме памяти программ           | LJMP | ad16     | 12 | 3 | 2 | $(PC) \leftarrow \text{ad16}$                                                                              |
| Абсолютный переход внутри страницы в 2 Кбайта             | AJMP | ad11     | 6  | 2 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 2$<br>$(PC_{0-10}) \leftarrow \text{ad11}$                                         |
| Короткий относительный переход внутри страницы в 256 байт | SJMP | rel      | 5  | 2 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 2$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                                          |
| Косвенный относительный переход                           | JMP  | @A+DPTR  | 1  | 1 | 2 | $(PC) \leftarrow (A) + (DPTR)$                                                                             |
| Переход, если аккумулятор равен нулю                      | JZ   | rel      | 5  | 2 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 2;$<br>если $(A) = 0:$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                      |
| Переход, если аккумулятор не равен нулю                   | JNZ  | rel      | 5  | 2 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 2;$<br>если $(A) \neq 0:$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                   |
| Переход, если перенос равен единице                       | JC   | rel      | 5  | 2 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 2;$<br>если $(C) = 1:$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                      |
| Переход, если перенос равен нулю                          | JNC  | rel      | 5  | 2 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 2;$<br>если $(C) = 0:$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                      |
| Переход, если бит равен единице                           | JB   | bit, rel | 11 | 3 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 3;$<br>если $(b) = 1:$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                      |
| Переход, если бит равен нулю                              | JNB  | bit, rel | 11 | 3 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 3;$<br>если $(b) = 0:$<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$                      |
| Переход, если бит установлен, с последующим сбросом бита  | JBC  | bit, rel | 11 | 3 | 2 | $(PC) \leftarrow (PC) + 3;$<br>если $(b) = 0:$ $(b) \leftarrow 0$ и<br>$(PC) \leftarrow (PC) + \text{rel}$ |

Приложение 3. Система команд MCS-51

| 1                                                                        | 2                 | 3  | 4 | 5 | 6                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Декремент регистра и переход, если не нуль                               | DJNZ Rn, rel      | 5  | 2 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+2 и (Rn) $\leftarrow$ (Rn)-1; если (Rn) $\neq$ 0: (PC) $\leftarrow$ (PC)+rel                                                                                                    |
| Декремент прямоадресуемого байта и переход, если не нуль                 | DJNZ ad, rel      | 8  | 3 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+2 и (ad) $\leftarrow$ (ad)-1; если (ad) $\neq$ 0: (PC) $\leftarrow$ (PC)+rel                                                                                                    |
| Сравнение аккумулятора с прямоадресуемым байтом и переход, если не равно | CJNE A, ad, rel   | 8  | 3 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+3; если (A) $\neq$ (ad): (PC) $\leftarrow$ (PC)+rel, (A) $<$ (ad): (C) $\leftarrow$ 1, иначе: (C) $\leftarrow$ 0                                                                |
| Сравнение аккумулятора с константой и переход, если не равно             | CJNE A, #d, rel   | 10 | 3 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+3; если (A) $\neq$ (#d): (PC) $\leftarrow$ (PC)+rel, если (A) $<$ (#d): (C) $\leftarrow$ 1, иначе: (C) $\leftarrow$ 0                                                           |
| Сравнение регистра с константой и переход, если не равно                 | CJNE Rn, #d, rel  | 10 | 3 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+3; если (Rn) $\neq$ (#d): (PC) $\leftarrow$ (PC)+rel, если (Rn) $<$ (#d): (C) $\leftarrow$ 1, иначе: (C) $\leftarrow$ 0                                                         |
| Сравнение байта в РПД с константой и переход, если не равно              | CJNE @Ri, #d, rel | 10 | 3 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+3; если [Ri] $\neq$ (#d): (PC) $\leftarrow$ (PC)+rel, если [Ri] $<$ (#d): (C) $\leftarrow$ 1, иначе: (C) $\leftarrow$ 0                                                         |
| Длинный вызов подпрограммы                                               | LCALL ad16        | 12 | 3 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+3; (SP) $\leftarrow$ (SP)+1; [SP] $\leftarrow$ (PC <sub>0-7</sub> ), (SP) $\leftarrow$ (SP)+1; [SP] $\leftarrow$ (PC <sub>8-15</sub> ), (PC) $\leftarrow$ ad16                  |
| Абсолютный вызов подпрограммы в пределах страницы в 2 Кбайта             | ACALL ad11        | 6  | 2 | 2 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+2; (SP) $\leftarrow$ (SP)+1; [SP] $\leftarrow$ (PC <sub>0-7</sub> ), (SP) $\leftarrow$ (SP)+1; [SP] $\leftarrow$ (PC <sub>8-15</sub> ), (PC <sub>0-10</sub> ) $\leftarrow$ ad11 |
| Возврат из подпрограммы                                                  | RET               | 1  | 1 | 2 | (PC <sub>8-15</sub> ) $\leftarrow$ [SP]; (SP) $\leftarrow$ (SP)-1; (PC <sub>0-7</sub> ) $\leftarrow$ [SP]; (SP) $\leftarrow$ (SP)-1                                                                    |
| Возврат из подпрограммы обработки прерывания                             | RETI              | 1  | 1 | 2 | (PC <sub>8-15</sub> ) $\leftarrow$ [SP]; (SP) $\leftarrow$ (SP)-1; (PC <sub>0-7</sub> ) $\leftarrow$ [SP]; (SP) $\leftarrow$ (SP)-1                                                                    |
| Холостая команда                                                         | NOP               | 1  | 1 | 1 | (PC) $\leftarrow$ (PC)+1                                                                                                                                                                               |

**Примечание.** Ассемблер допускает использование обобщенного имени команд JMP и CALL, которые в процессе трансляции заменяются оптимальными по формату командами перехода (AJMP, SJMP, LJMP) или вызова (ACALL, LCALL). Буквами обозначены: Т – тип команды в соответствии с рис. 6.18; Б – формат в байтах, Ц – число машинных циклов.

## УКАЗАТЕЛЬ СОКРАЩЕНИЙ

|       |                                               |           |                                                                                                    |
|-------|-----------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| АЛУ   | Арифметико-логическое устройство              | ЦАП       | Цифро-аналоговый преобразователь                                                                   |
| АЦП   | Аналого-цифровой преобразователь              | ЭВМ       | Электронно-вычислительная машина                                                                   |
| БИС   | Большая интегральная схема                    | ШИМ       | Широтно-импульсный модулятор                                                                       |
| ВП    | Внешняя память                                | BP        | Base Pointer                                                                                       |
| ВПД   | Внешняя память данных                         | BROWN OUT | Схема сброса при понижении напряжении питания                                                      |
| ВПП   | Внешняя память программ                       | CAN       | Controller area network                                                                            |
| КМОП  | Комплементарный МОП                           | CISC      | Complete Instruction Set Computer                                                                  |
| КОП   | Код операции                                  | CMOS      | Complementary MOS                                                                                  |
| МК    | Микроконтроллер                               | DAC       | Digital Analog Converter                                                                           |
| МОП   | Металл-окисел-полупроводник                   | DP        | Data Pointer                                                                                       |
| ОЗУ   | Оперативное запоминающее устройство           | EEPROM    | Electrically erasable PROM                                                                         |
| ПЗУ   | Постоянное запоминающее устройство            | EPM       | External Program Memory                                                                            |
| ПЛИС  | Программируемая логическая интегральная схема | EPROM     | Erasable PROM                                                                                      |
| ППЗУ  | Программируемое ПЗУ                           | FLASH     | Флэш-память                                                                                        |
| РОН   | Регистр общего назначения                     | IDE       | Integrated Development Environment                                                                 |
| РПД   | Резидентная память данных                     | IDLE      | Режим холостого хода                                                                               |
| РПП   | Резидентная память программ                   | I2C       | Inter-Integrated Circuit Bus                                                                       |
| РСФ   | Регистр специальных функций                   | LCD       | Liquid Crystal Display                                                                             |
| РУД   | Регистр-указатель данных                      | LVD       | Low Voltage Detection                                                                              |
| РУС   | Регистр-указатель стека                       | mI2C      | Master Inter-Integrated Circuit Bus                                                                |
| СБР   | Сброс                                         | PCCP      | Programmable Consumer Controller Processors (Программируемые микроконтроллеры широкого применения) |
| СК    | Счетчик команд                                | PGA       | Programmable Gain Amplifier                                                                        |
| СППЗУ | Стираемое программируемое ПЗУ                 | PROM      | Programmable ROM                                                                                   |
| ССП   | Слово состояния программы                     | PSP       | Parallel Slave Port                                                                                |
| ТТЛ   | Транзисторно-транзисторная логика             | RAM       | Random access memory (ОЗУ)                                                                         |
| УВВ   | Устройство ввода-вывода                       | RISC      | Reduced Instruction Set Computer                                                                   |
| УФ    | Ультрафиолет                                  |           |                                                                                                    |



## Указатель сокращений

---

|      |                                             |           |                                                         |
|------|---------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|
| ROM  | Read only memory (ПЗУ)                      | USART     | Universal synchronous/asynchronous receiver transmitter |
| SMB  | System Management Bus                       | USB       | Universal serial bus                                    |
| SPI  | Serial Peripheral Interface                 | Watch Dog | Сторожевой таймер                                       |
| UART | Universal asynchronous receiver transmitter |           |                                                         |

## Оглавление

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Предисловие</b>                                                                        | <b>3</b>  |
| <b>1. Организация микропроцессорной системы</b>                                           | <b>5</b>  |
| 1.1. Цифровые устройства с фиксированными и программно-управляемыми функциями . . . . .   | 5         |
| 1.1.1. Цифровые устройства с фиксированными функциями . . . . .                           | 5         |
| 1.1.2. Цифровые устройства с программно-управляемыми функциями . . . . .                  | 8         |
| 1.1.3. Магистрально-модульная организация связей . . . . .                                | 10        |
| 1.2. Архитектура системы . . . . .                                                        | 16        |
| 1.2.1. Некоторые типы архитектуры . . . . .                                               | 16        |
| 1.3. Полупроводниковые запоминающие устройства . . . . .                                  | 23        |
| 1.3.1. Система параметров . . . . .                                                       | 23        |
| 1.3.2. Классификация ЗУ . . . . .                                                         | 26        |
| 1.3.3. Основные структуры запоминающих устройств . . . . .                                | 33        |
| 1.3.4. Постоянные запоминающие устройства . . . . .                                       | 36        |
| 1.3.5. Статические запоминающие устройства . . . . .                                      | 41        |
| 1.3.6. Динамические запоминающие устройства . . . . .                                     | 44        |
| 1.4. Устройства обработки данных и управления . . . . .                                   | 50        |
| 1.4.1. Устройство обработки данных . . . . .                                              | 50        |
| 1.4.2. Устройство управления . . . . .                                                    | 54        |
| 1.4.3. Организация микрокоманд . . . . .                                                  | 56        |
| 1.5. Общие сведения о микропроцессорах . . . . .                                          | 62        |
| 1.5.1. Общая характеристика . . . . .                                                     | 62        |
| 1.5.2. Организация микропроцессора . . . . .                                              | 63        |
| 1.5.3. Классификация микропроцессоров . . . . .                                           | 65        |
| 1.6. Программное обеспечение микропроцессоров . . . . .                                   | 71        |
| 1.6.1. Языки и уровни программирования . . . . .                                          | 71        |
| 1.6.2. Подготовка программного обеспечения . . . . .                                      | 72        |
| 1.6.3. Виды программного обеспечения . . . . .                                            | 76        |
| 1.6.4. Представление данных в микропроцессоре . . . . .                                   | 77        |
| 1.6.5. Адресация данных . . . . .                                                         | 81        |
| <b>2. Интерфейс и организация ввода-вывода</b>                                            | <b>85</b> |
| 2.1. Интерфейс микропроцессорной системы . . . . .                                        | 85        |
| 2.1.1. Интерфейс микропроцессорной системы и контроллеры периферийных устройств . . . . . | 85        |

|           |                                                                            |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.2.    | Классификация способов обмена данными . . . .                              | 88         |
| 2.2.      | Программно-управляемый обмен данными по параллельному каналу . . . . .     | 89         |
| 2.2.1.    | Синхронный обмен . . . . .                                                 | 89         |
| 2.2.2.    | Асинхронный обмен . . . . .                                                | 90         |
| 2.3.      | Обмен данными по прерываниям . . . . .                                     | 92         |
| 2.3.1.    | Организация системы прерываний . . . . .                                   | 92         |
| 2.3.2.    | Невекторные прерывания . . . . .                                           | 96         |
| 2.3.3.    | Векторные прерывания . . . . .                                             | 101        |
| 2.4.      | Прямой доступ к памяти . . . . .                                           | 107        |
| 2.5.      | Программно-управляемый обмен данными по последовательному каналу . . . . . | 110        |
| 2.5.1.    | Синхронный обмен . . . . .                                                 | 111        |
| 2.5.2.    | Асинхронный обмен . . . . .                                                | 114        |
| 2.5.3.    | Интерфейсы последовательного канала . . . . .                              | 117        |
| <b>3.</b> | <b>Однокристалльные 8- и 16-разрядные микропроцессоры</b>                  | <b>125</b> |
| 3.1.      | Микропроцессор i8080 . . . . .                                             | 125        |
| 3.1.1.    | Общая характеристика . . . . .                                             | 125        |
| 3.1.2.    | Структурная схема микропроцессора . . . . .                                | 126        |
| 3.1.3.    | Тактирование и синхронизация в системе . . . . .                           | 130        |
| 3.1.4.    | Система команд i8080 . . . . .                                             | 137        |
| 3.2.      | Микропроцессор i8085 . . . . .                                             | 139        |
| 3.2.1.    | Структурная схема микропроцессора . . . . .                                | 140        |
| 3.2.2.    | Система прерываний . . . . .                                               | 143        |
| 3.2.3.    | Последовательный ввод-вывод . . . . .                                      | 144        |
| 3.3.      | Микропроцессор i8086 . . . . .                                             | 145        |
| 3.3.1.    | Структурная схема микропроцессора . . . . .                                | 146        |
| 3.3.2.    | Организация памяти . . . . .                                               | 154        |
| 3.3.3.    | Организация прерываний . . . . .                                           | 157        |
| 3.3.4.    | Организация системы команд i8086 . . . . .                                 | 160        |
| 3.3.5.    | Список команд i8086 . . . . .                                              | 164        |
| 3.4.      | Микропроцессоры z80, i8088, i80186, i80188 . . . . .                       | 169        |
| <b>4.</b> | <b>Однокристалльные микроконтроллеры и микроЭВМ</b>                        | <b>171</b> |
| 4.1.      | Термины и определения . . . . .                                            | 171        |
| 4.2.      | Основное оборудование микроконтроллера . . . . .                           | 173        |
| 4.2.1.    | Процессорное ядро . . . . .                                                | 173        |
| 4.2.2.    | Подсистема памяти . . . . .                                                | 173        |
| 4.2.3.    | Подсистема ввода-вывода . . . . .                                          | 174        |
| 4.3.      | Таймеры и процессоры событий . . . . .                                     | 176        |
| 4.3.1.    | Таймеры/счетчики . . . . .                                                 | 177        |
| 4.3.2.    | Модули захвата и сравнения . . . . .                                       | 179        |
| 4.3.3.    | Процессор событий . . . . .                                                | 181        |

|           |                                                           |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.      | Дополнительное встроенное оборудование . . . . .          | 182        |
| 4.4.1.    | Модули преобразования данных . . . . .                    | 182        |
| 4.4.2.    | Модули мониторинга состояния . . . . .                    | 183        |
| 4.5.      | Критерии выбора микроконтроллера для проекта . . . . .    | 184        |
| <b>5.</b> | <b>Сравнительный анализ некоторых микроконтроллеров</b>   | <b>195</b> |
| 5.1.      | Микроконтроллеры фирмы Microchip . . . . .                | 196        |
| 5.1.1.    | Историческая справка . . . . .                            | 196        |
| 5.1.2.    | Основные особенности микроконтроллеров . . . . .          | 197        |
| 5.1.3.    | Встроенные аппаратные средства . . . . .                  | 198        |
| 5.1.4.    | Микроконтроллеры с Flash-памятью программ . . . . .       | 199        |
| 5.1.5.    | Программирование микроконтроллеров . . . . .              | 200        |
| 5.2.      | Микроконтроллеры фирмы Scenix . . . . .                   | 201        |
| 5.2.1.    | Основные особенности микроконтроллеров . . . . .          | 202        |
| 5.3.      | Микроконтроллеры AT89 фирмы Atmel . . . . .               | 208        |
| 5.3.1.    | Основные особенности микроконтроллеров . . . . .          | 208        |
| 5.4.      | Микроконтроллеры AVR фирмы Atmel . . . . .                | 213        |
| 5.4.1.    | Общая характеристика AVR микроконтроллеров . . . . .      | 213        |
| 5.4.2.    | Микроконтроллер AT90S1200 . . . . .                       | 215        |
| 5.5.      | Микроконтроллеры фирмы "Ангстрем" . . . . .               | 218        |
| 5.5.1.    | Микроконтроллер KP1878BE1 . . . . .                       | 219        |
| 5.6.      | Программируемые микроконтроллеры фирмы Zilog . . . . .    | 221        |
| 5.6.1.    | Контроллеры общего назначения . . . . .                   | 221        |
| 5.6.2.    | Контроллеры с расширенным набором функций . . . . .       | 228        |
| 5.6.3.    | Разработка программного обеспечения . . . . .             | 229        |
| <b>6.</b> | <b>Структурная организация и система команд MCS51</b>     | <b>231</b> |
| 6.1.      | Общее описание . . . . .                                  | 231        |
| 6.2.      | Структурная схема MCS51 . . . . .                         | 233        |
| 6.2.1.    | Арифметико-логическое устройство . . . . .                | 233        |
| 6.2.2.    | Резидентная память . . . . .                              | 235        |
| 6.2.3.    | Устройство управления и синхронизации . . . . .           | 239        |
| 6.2.4.    | Порты ввода-вывода информации . . . . .                   | 241        |
| 6.2.5.    | Доступ к внешней памяти . . . . .                         | 244        |
| 6.2.6.    | Таймер/счетчик . . . . .                                  | 248        |
| 6.3.      | Последовательный интерфейс . . . . .                      | 252        |
| 6.3.1.    | Регистр управления/статуса УАПП . . . . .                 | 253        |
| 6.3.2.    | Работа УАПП в мультимикроконтроллерных системах . . . . . | 255        |
| 6.3.3.    | Скорость приема/передачи . . . . .                        | 256        |
| 6.3.4.    | Особенности работы УАПП в различных режимах . . . . .     | 256        |
| 6.4.      | Система прерываний . . . . .                              | 262        |
| 6.5.      | Особые режимы работы MCS51 . . . . .                      | 264        |

|           |                                                                             |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.5.1.    | Режим загрузки и верификации прикладных программ . . . . .                  | 264        |
| 6.5.2.    | Работа MCS51 в пошаговом режиме . . . . .                                   | 267        |
| 6.5.3.    | Сброс, режим холостого хода и режим пониженного энергопотребления . . . . . | 268        |
| 6.5.4.    | Локальная управляющая сеть на основе MCS51 . . . . .                        | 270        |
| 6.6.      | Система команд MCS51 . . . . .                                              | 273        |
| 6.6.1.    | Общие сведения о системе команд . . . . .                                   | 273        |
| <b>7.</b> | <b>Развитие платформы МКС51</b>                                             | <b>283</b> |
| 7.1.      | Модификация ядра Intel 8051/8052 . . . . .                                  | 284        |
| 7.1.1.    | Intel 8XC51FA . . . . .                                                     | 284        |
| 7.1.2.    | Intel 8XC51GB . . . . .                                                     | 285        |
| 7.1.3.    | Intel 80C152 . . . . .                                                      | 286        |
| 7.1.4.    | Маркировка микроконтроллеров фирмы Intel . . . . .                          | 286        |
| 7.2.      | Микроконтроллеры семейства Intel MCS-251/151 . . . . .                      | 288        |
| 7.3.      | Микроконтроллеры семейства Intel MCS-96 . . . . .                           | 291        |
| 7.3.1.    | Общая характеристика . . . . .                                              | 291        |
| 7.3.2.    | Структура микроконтроллера . . . . .                                        | 291        |
| 7.3.3.    | Описание периферийных устройств . . . . .                                   | 294        |
| 7.3.4.    | Преимущества микроконтроллеров MCS-96 . . . . .                             | 300        |
| 7.4.      | Микроконтроллеры фирмы Philips . . . . .                                    | 300        |
| 7.5.      | Микроконтроллеры фирмы Analog Devices . . . . .                             | 302        |
| 7.5.1.    | Микроконтроллер ADuC812 . . . . .                                           | 302        |
| 7.5.2.    | Микроконтроллер ADuC824 . . . . .                                           | 313        |
| 7.5.3.    | Микроконтроллер ADuC842 . . . . .                                           | 314        |
| <b>8.</b> | <b>Инструментальные средства разработки программ для микроконтроллеров</b>  | <b>315</b> |
| 8.1.      | Инструментальные средства отладки . . . . .                                 | 315        |
| 8.1.1.    | Внутрисхемный эмулятор . . . . .                                            | 315        |
| 8.1.2.    | Программный симулятор . . . . .                                             | 320        |
| 8.1.3.    | Плата развития . . . . .                                                    | 321        |
| 8.1.4.    | Отладочный монитор . . . . .                                                | 322        |
| 8.1.5.    | Эмулятор ПЗУ . . . . .                                                      | 323        |
| 8.2.      | Типичные функциональные модули средств разработки и отладки . . . . .       | 324        |
| 8.3.      | Программные средства для MCS51 . . . . .                                    | 328        |
| 8.3.1.    | Базовые программные средства . . . . .                                      | 329        |
| 8.3.2.    | Интегрированные среды разработки . . . . .                                  | 331        |
| 8.4.      | Язык программирования ASM-51 . . . . .                                      | 333        |
| 8.4.1.    | От исходного текста к машинным кодам . . . . .                              | 333        |
| 8.4.2.    | Запись исходного текста программы . . . . .                                 | 335        |
| 8.4.3.    | Описание директив ассемблера . . . . .                                      | 341        |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| <b>Библиографический список</b>              | <b>351</b> |
| <b>Предметно-именной указатель</b>           | <b>353</b> |
| <b>Приложение 1. Система команд МП i8080</b> | <b>361</b> |
| <b>Приложение 2. Система команд МП i8086</b> | <b>362</b> |
| <b>Приложение 3. Система команд MCS-51</b>   | <b>366</b> |
| <b>Указатель сокращений</b>                  | <b>373</b> |

*Учебное издание*

Огородников Игорь Николаевич

## Микропроцессорная техника

Редактор *Л.Ю. Козьяичева*

Компьютерная верстка *И.Н. Огородникова*

---

Подписано в печать 29.11.2006

Бумага писчая

Уч.-изд.л. 22.4

Офсетная печать

Тираж

Заказ

Формат  $60 \times 84 \frac{1}{16}$

Усл.печ.л. 22.1

Цена “С”

---

Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Федеральное агентство по образованию

*АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ*

*Серия «Учебно-методический комплекс дисциплины»*

А.А. Кудинов

**Проектирование автоматизированных  
систем**

Указания к практическим занятиям по объектно-ориентированным методам  
проектирования

*Учебное пособие*

Благовещенск  
2010



*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета*

А.А. Кудинов Проектирование автоматизированных систем. Указания к практическим занятиям по объектно-ориентированным методам проектирования. Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2010.

Пособие предназначено для студентов специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств», изучающих дисциплину «Проектирование автоматизируемых систем» и выполняющих практические работы по дисциплине. Может быть использовано при выполнении курсовых и дипломных проектов.

*Рецензенты:* А.Н. Рыбалев А.В. заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и электротехники, канд. техн. наук, доцент;  
Кушниренко Г.И., доцент кафедры электропривода и автоматизации АПК и электрооборудования тракторов и автомобилей ДальГАУ.

***В авторской редакции***

© Амурский государственный университет, 2010  
© Кудинов А.А., 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В отличие от традиционных методов проектирования, изложенных в работе [8] процесс проектирования автоматизированных систем управления нацелен на объект. Объектно-ориентированные методы проектирования систем управления можно представить как систему взаимодействия следующих уровней обеспечения:

- концептуального;
- информационного;
- функционального;
- формализации;
- алгоритмического;
- программного;
- аппаратного.

В настоящей работе даются методические указания по изучению некоторой части этой системы: процесс управления как последовательность операций, циклограмма, алгоритм, сеть Петри, дерево достижимости, основные компоненты языка UML с концептуальным проектированием реляционных баз данных. Изучение этих рекомендаций с разработкой самостоятельных концепций и решений позволит студенту освоить нетрадиционные методы проектирования систем автоматизированного управления различными объектами.

## Работа 1

### ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ КАК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ

В качестве примера рассмотрим последовательность операций управления лифтовым механизмом. Структура одного из возможных вариантов такой последовательности операций представлена на рисунке 1. Роль определителей текущего состояния лифтовой системы будут выполнять датчики параметров и положений лифта при его работе. На схеме (рисунок 1) отдельные операции и этапы отображены в виде блоков, пронумерованными порядковыми номерами. Работа лифта начинается с команды «Пуск» - блок 1. Блок 2 проверяет условие: это первичный пуск или повторный. Если это повторный пуск, то предполагается, что это сбой в работе, аварийная ситуация (блок 3), после выявления, которой необходимо остановить лифт (блок 4). При срабатывании первичного пуска должно произойти включение привода движения кабины лифта – блок 5. Факт включения привода контролируется блоком 6. Если привод не сработал, то это определяется как аварийная ситуация и управление передается блоку 3 (аварийная ситуация). Если же привод включился, то вступает в работу схема идентификации номера этажа, на который следует подняться (или спуститься) лифтовой кабине. Блоком 7 контролируется факт достижения лифтом нужного этажа. Если кабина достигла заданного этажа, то производится останов привода движения кабины – блок 8 и проверяется – сработала ли команда останова кабины – блок 9. Если кабина не остановилась, то это фиксируется как аварийная ситуация и идет обращение к блоку 3. Если же кабина остановилась, то, через определенный промежуток времени, определяемый блоком 10, включается механизм открывания дверей кабины – блок 11, с проверкой факта открытия двери – блок 12. Если дверь открылась, то через заданный промежуток времени, задаваемый блоком 13, процесс управления возвращается автоматически на продолжение работы –

блок 1. В том случае если дверь кабины не открылась, то через определенный промежуток времени, который задается блоком 14, повторно проверяется факт открытия двери и, в случае повторного срабатывания двери, процесс также возвращается к начальному блоку – блоку 1. Если же и при повторной попытке дверь не открылась, то блок 15 обращается к блоку аварийной ситуации – блоку 3. Описанная последовательность операций при работе лифта лишь фрагмент процесса управления лифтовой системой – здесь отсутствуют такие вопросы как:

- выполнение стратегии приоритетов при одновременном вызове кабины с разных этажей;

- анализ ситуации останова кабины между этажами.

Основной целью примера является демонстрация основных принципов управления конкретным объектом, а не практическая реализация. Конкретная практическая реализация подобной системы управления потребует:

- технического анализа процессов управления, определение спецификаций и разработки технического задания;

- разработки технического предложения;

- разработки моделей функционирования с учетом ограничений и параметров;

- проведения расчетных операций и конструкторских разработок;

- проработки алгоритмов процессов;

- разработки прикладного программного обеспечения;

- параллельной разработки аппаратных средств реализации и интерфейсов связи и т.п.;

- выпуска полной проектной и технической документации по разработке системы на всех этапах проектирования.

Домашнее задание. Разработать процесс управления как последовательность операций для конкретной системы управления реальным объектом, выявленным студентом на производственной практике для курсового и дипломного проектирования. Процесс управления должен быть представлен в

диаграмме последовательности операций. При отсутствии реального объекта, преподаватель выдает учебное задание, для которого составляется диаграмма. Выполненная схема должна отвечать требованиям ЕСКД и стандарту АмГУ.

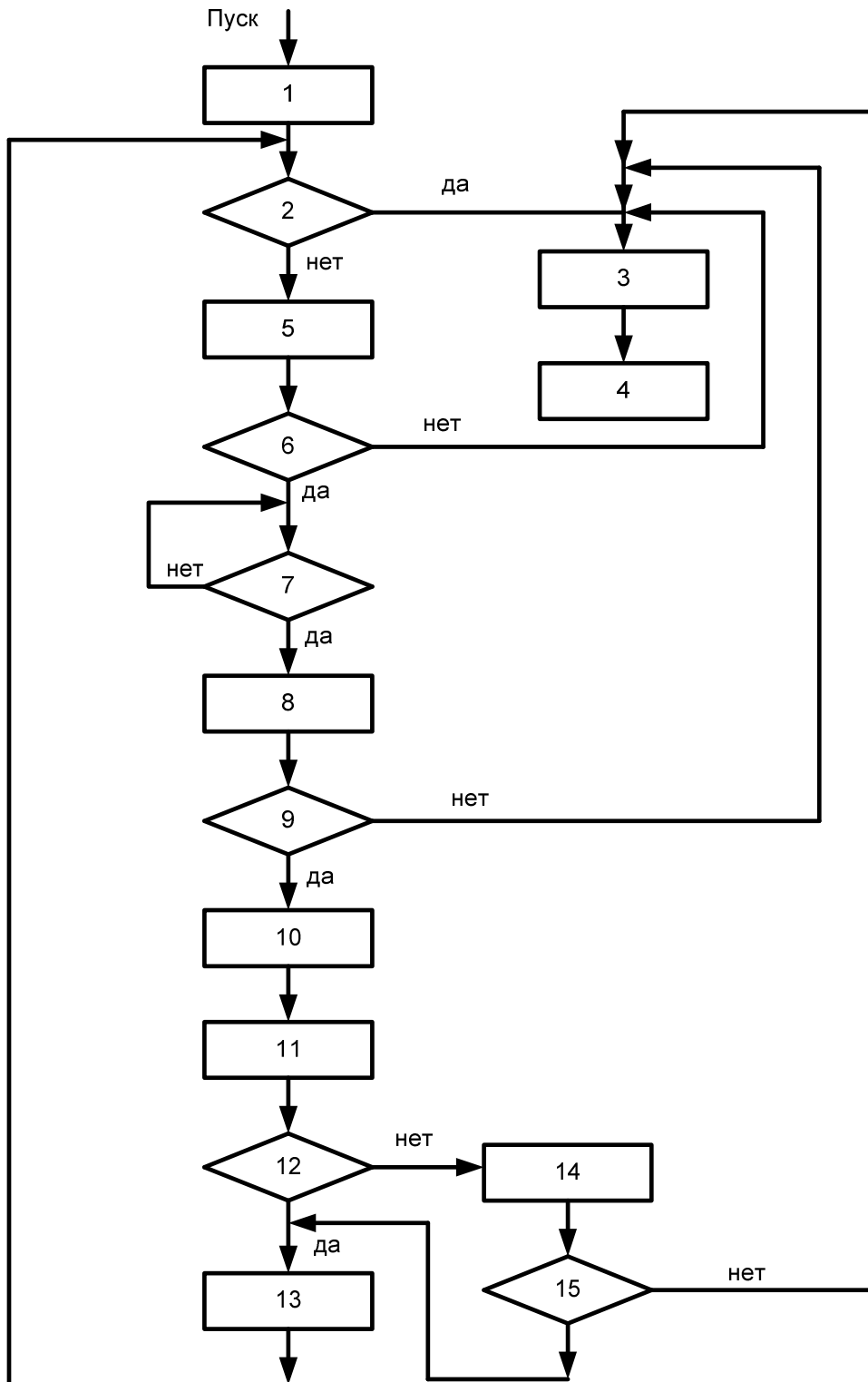


Рисунок 1 – Диаграмма последовательности операций при работе  
лифтовой системы

Работа 2

ЦИКЛОГРАММА

На рисунке 2 представлена циклограмма фрагмента функционирования лифтовой системы, разработанная на основе перечня операций, описанных выше.

В циклограмме на рисунке 2 сохраняются те же операции и обозначения элементов управления и контроля, что и в модели, изображенной на рисунке 1, но без детализации и описания технических параметров этих элементов, поскольку на этом этапе важны лишь функциональные, внешние параметры процедуры управления. Временные параметры работы представлены так же чисто качественно, в виде условных циклов времени, без привязки к конкретной продолжительности этих циклов. Каждый цикл привязан либо к операции управления, либо операции контроля и графически обозначен в виде отрезка прямой линии. Последовательные функциональные связи операций изображены на циклограмме в виде дуг со стрелками, расположенными в нижней части цепочки циклов. Дуги, расположенные сверху цепочки циклов, показывают функциональные связи в различных вариантах неправильной работы или аварийных ситуациях. Резюмируя проведенный анализ функциональности представления процессов управления объектами можно отметить следующие характерные особенности:

типичными и широко применяемыми в практике прикладными процессами, которые оснащаются системами управления, являются циклические процессы;

средства отображения функциональности процесса управления объектами дают лишь качественную оценку процессам управления, и это обстоятельство доказывается, в частности, на примере использования циклограмм;

необходимость расширения представления функциональных свойств процесса управления требует применения более эффективного аппарата анализа и синтеза – аппарата моделирования процессов управления;

рассмотрение функциональных характеристик системы управления является методологической основой для следующего этапа – этапа моделирования процессов управления.

Домашнее задание. На основе предыдущего домашнего задания разработать циклограмму управления и контроля реального объекта. При этом количество операций и элементов управления может быть больше или меньше, чем в построенной циклограмме (рисунок 2). Циклограмма функционирования реального объекта строиться для разных индивидуальных задач в реальном времени. Следует дать пояснения к своим циклограммам и выполнить в соответствии с требованиями ЕСКД и стандарта АмГУ.

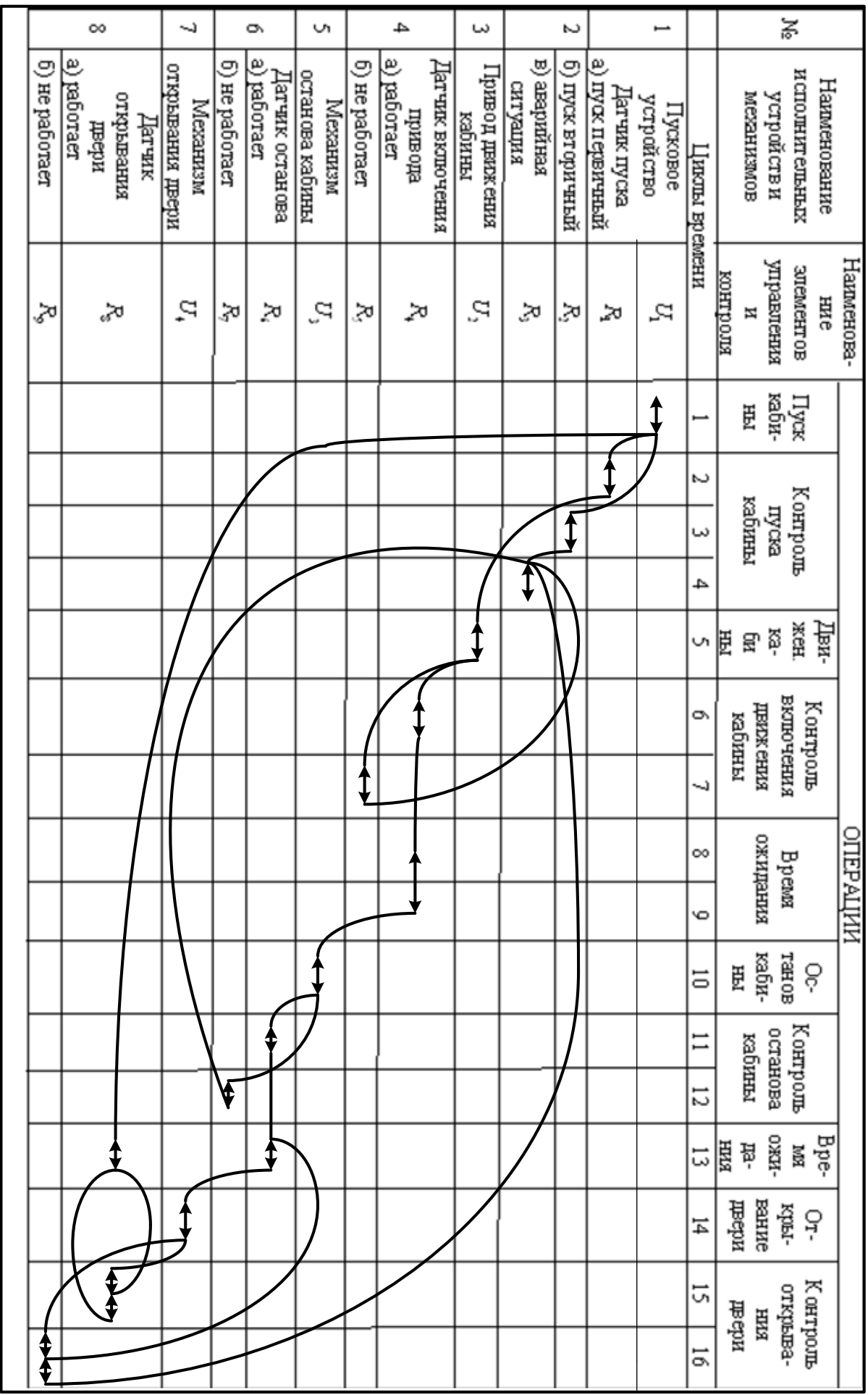


Рисунок 2 – Циклограмма функционирования лифтовой системы



## Работа 3

### АЛГОРИТМ ЛИФТА

Вернемся к примеру управления лифтовой системой, который был описан в работах 1 и 2, где процесс управления был представлен в виде циклограммы. Циклограмма (рисунок 2) наглядно демонстрирует общие принципы функционирования лифтовой системы под действием сигналов управления, показывает связи между отдельными операциями, но она весьма неудобна для следующего этапа алгоритмизации процесса управления. Поэтому необходимо применить такую форму представления модели управления, которая устраняла бы указанный недостаток. Представим процесс управления известной нам по предыдущим описаниям лифтовой системы, моделью в виде блок-схемы, изображенной на рисунке 3. Ранее был рассмотрен этот же пример проектирования процесса управления лифтом на концептуальном уровне, в виде описания последовательности операций, с применением того же метода блок-схем (рисунок 1). На блок-схеме рисунка 1 каждый блок представлял лишь порядковый номер очередной операции управления или контроля управляющих действий системы, а содержательная часть каждой операции требовала отдельного, текстового описания процесса управления лифтом.

На этапе моделирования можно применить тот же метод формального описания процесса управления, но уже с кратким описанием каждой операции внутри блоков, что и демонстрирует блок-схема на рисунке 3.

Описанный фрагмент процесса управления лифтовой системы описывает лишь часть работы системы и сюда не включены схемы приоритетов при одновременном запросе разных этажей, ситуации останова кабины лифта между этажами, аварийные вызовы и т.п.

Основная цель данной модели чисто методическая и иллюстративная: показать, каким-образом можно формализовать весьма доступными методами процесс функционирования или проектирования системы управления конкретным объектом.

Реализация этих моделей может быть выполнена на разных уровнях:

на аппаратном уровне в виде электронной схемы, когда все команды управления и операции контроля «прошиты» на схемном уровне;

на программно-аппаратном уровне, когда схемы соединений, силовые элементы, физический уровень реализации сигналов представлен в виде электронных схем, а сама логика управления, последовательность команд реализована в виде компьютерной программы. Второе решение применяется наиболее часто, поскольку оно более гибко и позволяет реализовать на одном объекте различные способы и методы процессов управления, разрабатывая лишь новые варианты моделей и их программную реализацию, а не прибегая к перестройке электронных схем, что значительно сложнее в реализации.

Программный уровень определяет конкретные команды, которые реализуются на аппаратном уровне в виде последовательности сигналов, подаваемых на следующие типовые элементы исполнения:

элементы включения приводов движения (например, включение привода движения кабины лифта) с помощью пускателей, реле, контакторов и т.п.;

элементы контроля и анализа правильности исполнения команд управления – датчики различных типов;

элементы оповещения и сигнализации – экраны, табло;

элементы поддержания диалога и других средств интерфейса пользователя – клавиатуры, мониторы, мыши и т.п.

В любом случае после рассмотрения обобщенных моделей управления, подобной рассмотренной выше модели управления лифтовой системой (рисунок 3), мы должны определить конкретные элементы управления и контроля, которые необходимо применить при реализации системы управления. Для этого проводится подробный анализ функционирования всех этапов управления, и назначаются конкретные элементы управления и контроля (пускатели, реле, выключатели, датчики) на всех уровнях управления объектом.

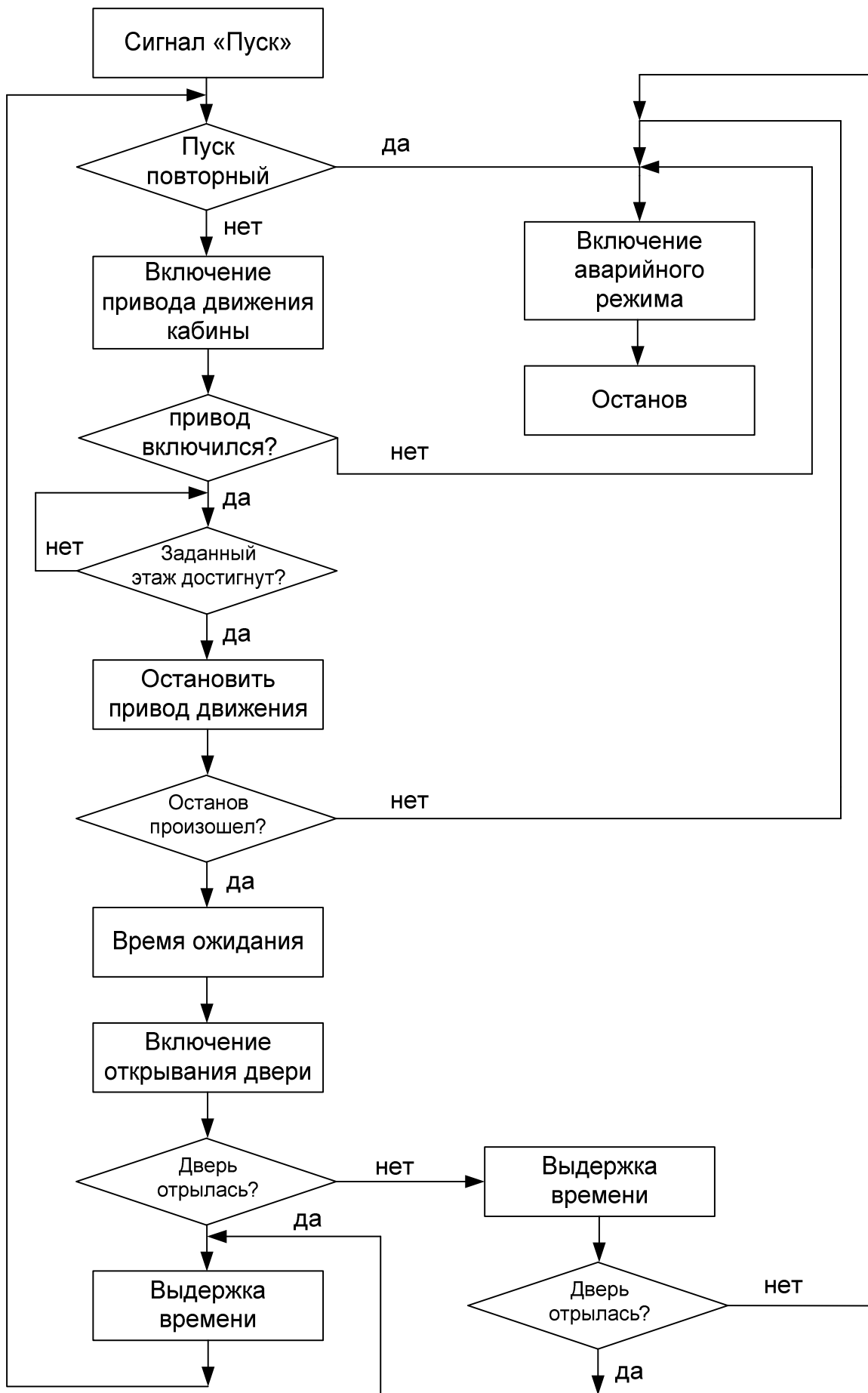


Рисунок 3 – Схема алгоритма функционирования лифтовой системы

Обычно все эти элементы в виде перечня удобнее свести в единую таблицу, назначив элементам имена и обозначения. Процесс управления непосредственно объектом в реальном времени включает два основных, взаимосвязанных информационных потока: поток управляющих воздействий и поток осведомительных сигналов, который контролирует текущее состояние процесса управления. Поэтому, прежде всего, необходимо определить и назначить те функциональные элементы, которые воспринимают и реализуют эти два потока (работа 2).

Анализ последовательности операций изображенных в модели на рисунке 3 показывает, что:

модель имеет замкнутый характер, с отслеживанием обратных связей и законченными рабочими циклами;

модель функционально подготовлена для разработки следующего этапа – алгоритмизации процессов управления.

И, тем не менее, модель процесса управления лифтовой системой, представленная на рисунке 3, не является функционально полной, а самое главное не отражает динамических процессов в управлении объектами, поскольку не содержит ответов на следующие важные вопросы:

обладает ли модель свойством живучести;

реализует ли она параллельные процессы;

обладает ли она способностью разрешать конфликтные ситуации;

имеет ли механизмы анализа достижимости заданных ситуаций.

Поэтому более функционально полными являются модели процессов управления, которые способны ответить на сформулированные выше вопросы. Такими моделями являются сети Петри.

Домашнее задание. Рекомендуется на основе предыдущих работ построить схему алгоритма функционирования реального объекта.

## Работа 4

### СЕТЬ ПЕТРИ

Аппарат сетей Петри достаточно широко известен и описан во многих источниках, поэтому здесь будут приведены краткие ссылки на некоторые положения этого аппарата.

В сети Петри представлены состояния объектов, которые отображаются позициями сети и действия, которые отображаются переходами. Позиции графически представляются в виде кружочков, а переходы в виде планок. Позиции и переходы связаны между собой направленными дугами, которые обозначают функциональную связь между ними. Простое изображение совокупности позиций и переходов в виде сети отображает лишь статическую компоненту сети. Для определения динамической составляющей применяется правило маркировки сети. Суть ее в том, что вводятся специальные правила срабатывания переходов при соблюдении определенных условий.

Сеть Петри, построенная для нашего примера – описания процесса управления лифтовой системой – изображена на рисунке 4.

В графе сети Петри, изображенном на рисунке 4, приняты следующие обозначения позиций, переходов и блоков:

Позиции:

$P_1$  - начальное состояние кабины лифта;

$P_2$  - состояние первичного пуска кабины;

$P_3$  - состояние вторичного пуска кабины;

$P_4$  - аварийное состояние;

$P_5$  - анализ включения привода движения кабины;

$P_6$  - анализ достижения заданного этапа;

$P_7$  - анализ останова кабины;

$P_8$  - анализ открывание двери кабины лифта;

$P_9$  - повторный анализ открывания двери кабины лифта;

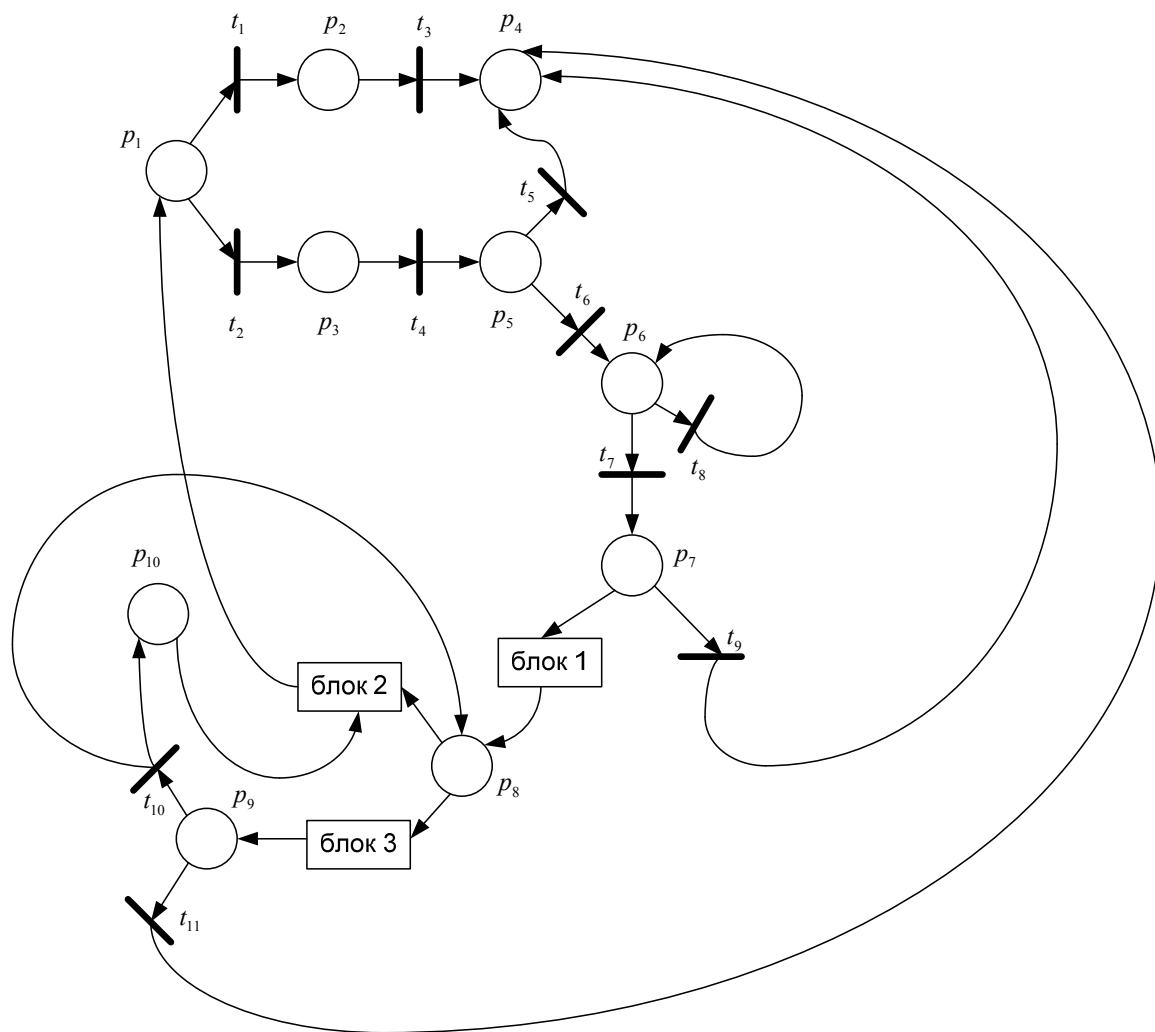


Рисунок 4 – Сеть Петри для моделирования процесса управления работой кабины лифта

$P_{10}$  - состояние открытой двери после вторичного анализа.

Переходы:

$t_1$  - команда пуска кабины лифта;

$t_2$  - команда повторного пуска кабины;

$t_3$  - команда аварийного останова кабины после повторного пуска;

$t_4$  - команда включения привода движения кабины лифта после пуска;

$t_5$  - сообщение о не включении привода движения кабины;

$t_6$  - сообщение о включении привода движения кабины;

$t_7$  - команда на останов кабины;

$t_8$  - сообщение о текущем этаже при движении кабины;

$t_9$  - сообщение о невозможности достижения заданного этажа;

$t_{10}$  - сообщение о срабатывании привода открывания двери;

$t_{11}$  - сообщение о вторичном отказе при открывании двери.

Блоки:

блок 1 – элемент организации временного интервала, равного циклу прохождения кабиной лифта от начала пуска до останова на заданном этаже. Элемент включает также команду на открывание двери при достижении заданного этажа;

блок 2 – элемент организации временного интервала, который включает время ожидания после открытия двери кабины до очередного пуска кабины. Блок содержит также сообщение об окончании цикла реализации вызова кабины лифта;

блок 3 – элемент организации временного интервала, который включает время ожидания при повторной проверке включения механизма открывания двери кабины.

Напомним некоторые краткие положения основ теории сетей Петри.

Сеть Петри, изображенная на рисунке 4 является классической сетью, содержащей изображения состояний элементов системы управления в виде кружков, а изображения событий, которые здесь называются переходами в виде планок. Состояния обозначаются символом  $P_n$ , а переходы – символом  $t_m$ , где  $n$  и  $m$  – любые целые числа в арабской нотации, обозначающие лишь порядковые номера соответственно событий и переходов. Два соседних состояния всегда связаны как минимум одним переходом.

В конкретных приложениях состояния могут отображать как положение какого-то объекта, так и состояние анализа ситуации. В свою очередь переходы могут отображать как конкретные команды управления объектом, так и сообщения о некоторых событиях.

Третьим элементом сети является блок, который не имеет специального символического обозначения и изображается в сети в виде прямоугольника и служит для изображения сложного перехода.

При этом обозначение блока произвольно и обычно внутри прямоугольника изображающего блок пишут, например, блок 2.

Обычный переход  $P_i$  отображает факт мгновенного изменения одного состояния на другое и при моделировании это игнорирование временных задержек часто оправдано, особенно при анализе качественных параметров процессов управления.

Но иногда, необходимо учитывать тот факт, что переход  $t_i$  из одного состояния  $P_i$  в другое состояние  $P_{i+1}$  связано с реализацией ряда промежуточных внутренних операций. Другими словами, вход в переход и выход из него представляют собой некоторое промежуточное временное преобразование, которое необходимо учитывать. Для отображения таких ситуаций и применяется элемент сети называемый блоком.

Например, в сети, изображенной на рисунке 4, блоками изображены переходы, связанные с искусственной задержкой времени, необходимой для рабочего цикла лифтовой системы. Так, для фиксирования интервала времени между остановом кабины лифта и моментом открывания двери применяется блок 1. Кроме этого временного интервала блок 1 включает и команду на включение открывания двери кабины лифта. Блок 2 в этой сети необходим для фиксирования временного интервала между моментом открывания двери и следующим пуском кабины. Блок 2 включает в себя также сообщение об окончании цикла вызова. Блок 3 фиксирует временной интервал ожидания при повторном анализе факта открывания двери. Количественное содержание временного интервала, реализуемого блоками 1, 2 и 3 определяются при разработке технических спецификаций при проектировании системы управления.

Содержание позиций и переходов, описанных выше для сети Петри, изображенной на рисунке 4, достаточно полно отображает последовательность



операций управления и контроля при управлении лифтовой системой, функциональные связи между операциями, но при этом не видно преимущества сети перед ранее представленными моделями процесса управления лифтовой системой, изображенными на рисунке 1 и рисунке 3. Сеть Петри получает преимущество перед другими моделями при введении процедуры маркировки сети.

Из теории сетей Петри известно, что маркировка представляет собой процесс присвоения фишек позициям сети. Фишка – произвольное число, условно изображаемое на графе сети темным кружком внутри позиции. Фишки используются для определения выполнения сети. Первоначальное распределение фишек в сети, как и их количество в позициях может быть любым и определяется лишь целями маркировки.

Фишки управляют выполнением переходов в сети, причем выполнением сети представляет собой запуск переходов. Переход запускается удалением фишек из его входных позиций и образованием новых фишек, помещаемых в его выходные позиции. Переход может запускаться только в том случае, если он разрушен.

Разрушенным называется переход, в котором каждая из его входных позиций имеет число фишек, по крайней мере, равное или большее числу входных дуг. При срабатывании разрешенного перехода из входной позиции этого перехода удаляется в общем случае столько фишек, сколько имеется входных дуг из позиции в переход. Это правило относится и к образованию фишек в выходной позиции перехода.

Применение процедуры маркировки в сетях Петри позволяет получить от модели, следующие дополнительные возможности:

- посмотреть процесс управления в динамике;
- проследить процессы реализации каждого действия (перехода) и последовательности переходов;
- оценить параметры живучести и безопасности сети;
- выявить конфликтные ситуации и найти способы разрешения их;

реализовать проблему разделения общего ресурса между двумя параллельными процессами;

решить проблему синхронизации параллельных процессов.

Домашнее задание. Необходимо выполнить модель реального объекта с помощью рассмотренной сети Петри и рассмотреть процесс управления в динамике.

## Работа 5

### ДЕРЕВО ДОСТИЖИМОСТИ

В сети представленной на рисунке 4 изображена начальная маркировка с единичной фишкой позиции  $P_i$ .

Аналитически такая маркировка может быть представлена в виде следующей записи:  $m_0 = (1,0,0,0,0,0,0,0,0)$ , где каждая цифра ряда показывает количество фишек в соответствующей по номеру позиции. Такая маркировка продиктована следующими причинами.

Анализ начального состояния сети показывает, то сеть должна быть замкнута на первичное ожидание сигнала пуска кабины лифта после завершения цикла обслуживания предыдущего запроса на передвижение. Поэтому в начальной маркировке сети присутствует одна фишка, в начальной позиции ожидания пуска – вершина  $P_1$ .

Одним из главных свойств сети Петри является возможность исследования моделируемого сетью процесса на достижимость определенных состояний. Факт достижимости определяется в процессе последовательного срабатывания разрешенных переходов. Каждое срабатывание очередного перехода вызывает изменение маркировки сети по правилам, которые были описаны выше.

Согласно этим же правилам последовательное изменение маркировок можно представить в виде диаграммы, называемой деревом достижимости. Фактически дерево достижимости – это графическая модель процесса срабатывания всех возможных вариантов последовательностей переходов. Такая модель позволяет наглядно исследовать и проанализировать все ситуации, достижение которых представляет интерес в конкретной модели приложения или предметной области.

Дерево достижимости, построенное для примера управления лифтовой системой, приведено на рисунке 5.

Начальная маркировка сети -  $m_0$  показывает как бы стартовое положение сети, при котором фишка находится в одной позиции – в первой.

В левой части дерева сгруппированы особые позиции: позиции, характеризующие наступление аварийных ситуаций (они подчеркнуты сплошной линией) и позиции возврата в начальное состояние системы после реализации очередного пуска кабины лифта (они выделены жирным шрифтом).

При анализе ветвей дерева достижимости можно отметить несколько важных моментов:

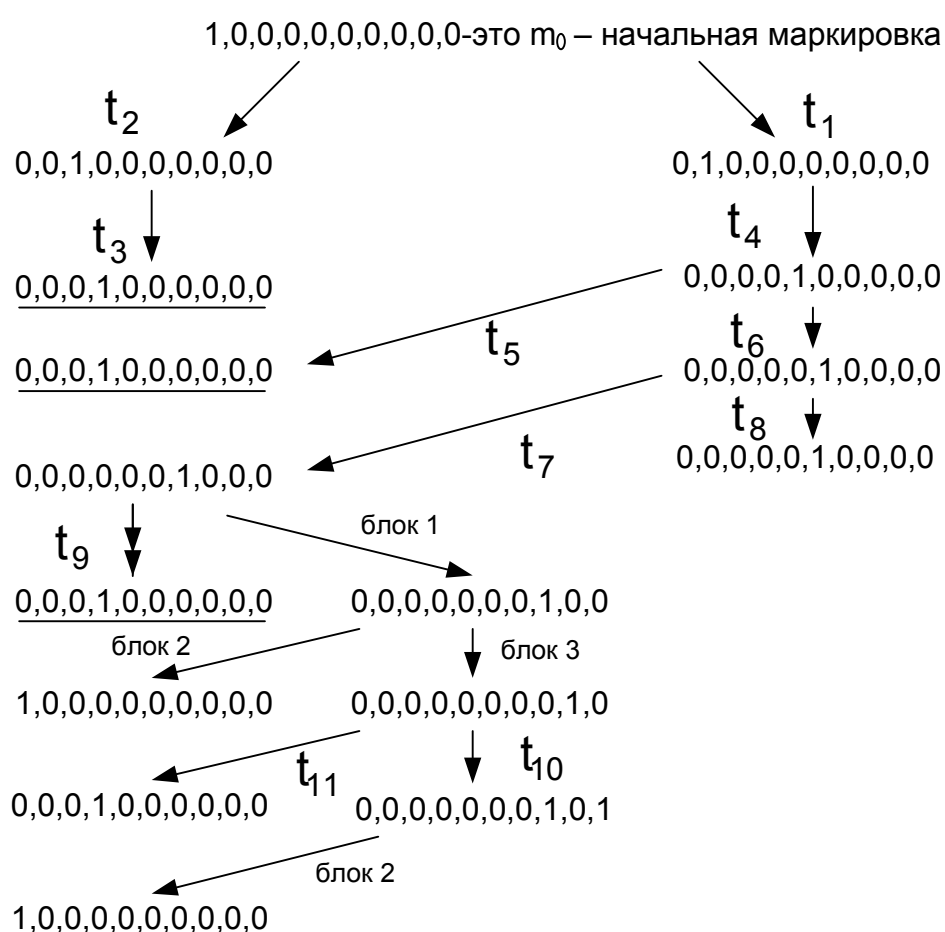


Рисунок 5 – Дерево достижимости сети Петри при моделировании лифтовой системы

1. При необходимости повторного пуска кабины лифта (переходы  $t_2$ -  $t_3$ ) достигается тупиковая ситуация, при которой не при каких условиях не может сработать не один переход в сети. По существу эта ситуация отображает аварийный режим работы лифта.

Подобные ситуации достигаются в сети также после:

срабатывания переходов  $t_1-t_4-t_5$ ;

срабатывания переходов  $t_1-t_4-t_6-t_7-t_9$ ;

срабатывания переходов  $t_1-t_4-t_6-t_7$ -блок 1-блок 3- $t_{11}$ .

В первом случае это иллюстрирует тот факт, что для определения аварийной ситуации, например, по несрабатыванию пуска привода движения кабины лифта, необходимо три уровня (такта) реализации переходов.

Во втором случае, для определения подобной ситуации, но по отношению к факту отсутствия останова кабины лифта, необходимо пять тактов срабатывания переходов. В третьем случае для анализа возможной аварийной ситуации при открывании двери кабины лифта необходимо семь тактов срабатывания переходов в сети.

2. При правильной работе лифта возврат в исходное состояние – ожидание следующего пуска кабины лифта после выполнения предыдущего вызова – достигается после выполнения всех необходимых действий, составляющих последовательность операций автоматического цикла работы лифтовой системы.

Это происходит либо за шесть тактов (переходы  $t_1-t_4-t_6-t_7$ -блок 1-блок 2), либо за восемь тактов, с учетом повторной попытки открывания двери кабины лифта (переходы  $t_1-t_4-t_6-t_7$ -блок 1-блок 3- $t_{10}$ -блок 2).

Значит, нормальный цикл работы лифта в рассматриваемом фрагменте реализуется либо за четыре такта, либо за шесть.

Таким образом, диаграмма достижимости может помочь качественно оценить функционирование проектируемой системы уже в стадии моделирования.

Другим важным свойством сети Петри является безопасность.

Позиция сети называется безопасной, если число фишек в ней никогда не превышает 1. Сеть Петри называется безопасной, если безопасны все позиции сети. Любая позиция сети может иметь только два значения: либо 0, либо 1.

Безопасность является важным свойством при моделировании аппаратного обеспечения системы управления, так как безопасная позиция может быть интерпретирована стандартным цифровым устройством – триггером. Это значит, что свойство безопасности можно применить для оценки надежности проектируемой системы управления, особенно при ее аппаратной реализации.

Анализ сети Петри, моделирующей работу лифтовой системы (рисунок 5) на безопасность показывает, что все позиции сети являются безопасными. Начальное состояние сети с маркировкой позиции  $P_1$  было обосновано и проанализировано выше, при описании графа сети Петри. Тот факт, что построенная сеть для моделирования работы лифта является формально безопасной, говорит об адекватности и надежности разработанной модели.

Следующим важным критерием работы сети является ее анализ на возможность параллелизма процессов.

Параллелизм (или одновременность) может быть представлен случаем, когда два независимых параллельных процесса описаны сетями Петри. В этом случае простая операция объединения двух сетей, приводит к составной сети Петри, в которой два процесса можно считать параллельными. В примере сети, представленной на рисунке 5, параллельные процессы отсутствуют, а есть лишь различные, возможные варианты разветвления процесса управления лифтовой системы.

Продолжая анализ сети для нашего примера, можно убедиться в том, что сеть не имеет конфликтов, поскольку в сети не существует ситуации, когда два перехода приводят к противоречию в работе позиций, которые они обслуживают.

Отсутствие параллельных процессов в рассматриваемой сети исключает также и анализ способов синхронизации сети, поскольку синхронизация нужна в случае взаимодействия параллельных процессов в сети.

Кратко отметим, что синхронизация в сети Петри имеет специфический характер и связана не с привязкой моделируемого процесса с осью времени, а связана с процедурой распределения одного общего ресурса, на который

претендуют несколько процессов (в минимальном случае – два процесса). При этом каждый из процессов имеет одинаковые права на один ресурс. Вопрос о том – какой из претендующих процессов имеет более высокий приоритет на использование ресурса решается либо, исходя из особенностей реальных процессов, моделируемых сетью, либо определяется какой-то произвольной процедурой, имеющей случайный, вероятностный характер.

Эта процедура формально решается процессом присвоения фишек определенным позициям.

Таким образом, возможности теории сетей Петри позволяют произвести развернутый анализ проектируемых систем управления еще на стадии моделирования реальных процессов управления. Рассмотренные в этой главе дискретные модели для формализации процессов управления не являются единственными, а скорее наиболее распространенными.

Домашнее задание. Построить дерево достижимости для самостоятельной задачи по проектированию системы управления реального объекта, дать пояснения к дереву достижимости.

## Работа 6

### ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЯЗЫКА UML

UML представляет собой общецелевой язык визуального моделирования, который разработан для спецификации, визуализации, проектирования и документирования компонентов программного обеспечения, бизнес-процессов и других систем. Он является простым и мощным средством моделирования, который может быть эффективно использован для построения концептуальных, логических и графических моделей сложных систем самого различного целевого назначения. Этот язык вобрал в себя наилучшие качества и опыт методов программной инженерии, которые с успехом использовались на протяжении последних лет при моделировании больших и сложных систем.

Язык UML основан на некотором числе базовых понятий, которые могут быть изучены и применены большинством программистов и разработчиков, знакомых с методами объектно-ориентированного анализа и проектирования. При этом базовые понятия могут комбинироваться и расширяться таким образом, что специалисты объектного моделирования получают возможность самостоятельно разрабатывать модели больших и сложных систем в самых различных областях приложений.

Конструктивное использование языка UML основывается на понимании общих принципов моделирования сложных систем и особенностей процесса объектно-ориентированного анализа и проектирования в частности. Выбор выразительных средств для построения моделей сложных систем предопределяет те задачи, которые могут быть решены с использованием данных моделей. При этом одним из основных принципов построения моделей сложных систем является принцип абстрагирования, который предписывает включать в модель только те аспекты проектируемой системы, которые имеют непосредственное отношение к выполнению системой своих функций или своего целевого предназначения. При этом все второстепенные детали



опускаются, чтобы чрезмерно не усложнять процесс анализа и исследования полученной модели.

Другим принципом построения моделей сложных систем является принцип многомодельности. Этот принцип представляет собой утверждение о том, что никакая единственная модель не может с достаточной степенью адекватности описывать различные аспекты сложной системы. Феномен сложной системы как раз и состоит в том, что никакая ее единственная модель не является достаточной для адекватного выражения всех особенностей моделируемой системы.

Применительно к методологии ООАП это означает, что достаточно полная модель сложной системы представляет собой некоторое число взаимосвязанных представлений (views), каждое из которых адекватно отражает некоторый аспект поведения или структуры системы. При этом наиболее общими представлениями сложной системы принято считать статическое и динамическое представления, которые в свою очередь могут подразделяться на другие, более частные представления.

Еще одним принципом прикладного системного анализа является принцип иерархического построения моделей сложных систем. Этот принцип предписывает рассматривать процесс построения модели на разных уровнях абстрагирования или первоначальная модель сложной системы имеет наиболее общее представление (метапредставление). Такая модель строится на начальном этапе проектирования и может не содержать многих деталей и аспектов моделируемой системы.

Таким образом, процесс ООАП можно представить как поуровневый спуск от наиболее общих моделей и представлений концептуального уровня к более частным и детальным представлениям логического и физического уровня. При этом на каждом из этапов ООАП данные модели последовательно дополняются все большим количеством деталей, что позволяет им более адекватно отражать различные аспекты конкретной реализации сложной

системы. Общая схема взаимосвязей моделей ООАП представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Общая схема взаимосвязей моделей и представлений сложной системы в процессе объектно-ориентированного анализа и проектирования

Название «физическая модель» в терминологии ООАП и языка UML отличается от общепринятой трактовки этого термина в общей классификации моделей систем. В последнем случае под физической моделью системы понимают некоторую материальную конструкцию, обладающую свойствами подобия с формой оригинала. Примерами таких моделей могут служить модели технических систем (самолетов, кораблей), архитектурных сооружений (зданий, микрорайонов). Что касается использования этого термина в ООАП и языке UML, то здесь физическая модель отражает компонентный состав проектируемой системы с точки зрения ее реализации на некоторой технической базе и вычислительных платформах конкретных производителей.

Язык UML предназначен для решения ряда задач.

1. Представить в распоряжение пользователей легко воспринимаемый и выразительный язык визуального моделирования, специально предназначенный для разработки и документирования моделей сложных систем самого различного целевого назначения.

Речь идет о том, что важным фактором дальнейшего развития и повсеместного использования методологии ООАП является интуитивная ясность и понятность основных конструкций соответствующего языка моделирования. Язык UML включает в себя не только абстрактные конструкции, для представления метамodelей систем, но и целый ряд конкретных понятий, имеющих вполне определенную семантику. Это позволяет языку UML одновременно достичь не только универсальности представления моделей для самых различных приложений, но и возможности описания достаточно тонких деталей реализации этих моделей применительно к конкретным системам.

Практика системного моделирования показала, что абстрактного описания языка на некотором метауровне недостаточно для разработчиков, которые ставят своей целью реализацию проекта системы в конкретные сроки. В настоящее время имеет место некоторый концептуальный разрыв между общей методологией моделирования сложных систем и конкретными инструментальными средствами быстрой разработки приложений. Именно этот разрыв и призван заполнить язык UML.

Отсюда вытекает важное следствие – для адекватного понимания базовых инструкций языка UML важно не только владеть некоторыми навыками объектно-ориентированного программирования, но и хорошо представлять себе общую проблематику процесса разработки моделей систем. Именно интеграция этих представлений образует новую парадигму ООАП, практическим следствием и центральным стержнем которой является язык UML.

2. Снабдить исходные понятия языка UML возможностью расширения и специализации для более точного представления моделей систем в конкретной предметной области.

Хотя язык UML является формальным языком спецификаций, формальность его описания отличается от синтаксиса как традиционных формально-логических языков, так и известных языков программирования. Это становится возможным по той причине, что в самом описании языка UML заложен механизм расширения базовых понятий, который является самостоятельным элементом и имеет собственное описание в форме правил расширения.

3. Описание языка UML должно поддерживать такую спецификацию моделей, которая не зависит от конкретных языков программирования и инструментальных средств проектирования программных систем.

Речь идет о том, что конструкции языка UML не должны зависеть от особенностей их реализации в известных языках программирования. Другими словами, хотя отдельные понятия языка UML семантически связаны с последними, их жесткая интерпретация в форме конструкций программирования не может быть признанной корректной.

С другой стороны, язык UML должен обладать потенциальной возможностью реализации своих конструкций на том или ином языке программирования. Конечно, в первую очередь имеются в виду языки, поддерживающие концепцию ООП, такие как C++, Java, Object Pascal. Именно это свойство языка UML делает его современным средством решения задач моделирования сложных систем. В то же время, предполагается, что для программной поддержки конструкций языка UML могут быть разработаны специальные инструментальные CASE – средства. Наличие последних имеет принципиальное значение для широкого распространения и использования языка UML.

4. Описание языка UML должно включать в себя семантический базис для понимания общих особенностей ООАП.

Говоря об этой особенности, имеют в виду самодостаточность языка UML для понимания не только его базовых конструкций, но что не менее важно – понимания общих принципов ООАП. В этой связи необходимо

отметить, что поскольку язык UML не является языком программирования, а служит средством для решения задач объектно-ориентированного моделирования систем, описание языка UML должно по возможности включать в себя все необходимые понятия для ООАП. Без этого свойства язык UML может оказаться бесполезным и невостребованным большинством пользователей, которые не знакомы с проблематикой ООАП сложных систем.

5. Способствовать распространению объектных технологий и соответствующих понятий ООАП.

Использование языка UML для решения всевозможных практических задач будет только способствовать его дальнейшему совершенствованию, а значит и дальнейшему развитию объектных технологий и практики ООАП.

6. Интегрировать в себя новейшие и наилучшие достижения практики ООАП.

Язык UML непрерывно совершенствуется разработчиками, и основой этой работы является его дальнейшая интеграция с современными технологиями моделирования. При этом различные методы системного моделирования получают свое прикладное осмысление в рамках ООАП. В последующем эти методы могут быть включены в состав языка UML в форме дополнительных базовых понятий, наиболее адекватно и полно отражающие наилучшие достижения практики ООАП.

Домашнее задание. Построить модель сложной системы для выбранного объекта управления, дать пояснения в терминах UML.

## Работа 7

### ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЯЗЫКА UML

С самой общей точки зрения описание языка UML состоит из двух взаимодействующих частей:

семантика языка UML. Представляет собой некоторую метамодель, которая определяет абстрактный синтаксис и семантику понятий объектного моделирования на языке UML;

нотация языка UML. Представляет собой графическую нотацию для визуального представления семантики языка UML.

Абстрактный синтаксис и семантика языка UML описываются с использованием некоторого подмножества нотации UML. В дополнении к этому, нотация UML описывает соответствие, или отображение графической нотации в базовые понятия семантики. Таким образом, с функциональной точки зрения эти две части дополняют друг друга. При этом семантика языка UML описывается на основе некоторой метамодели, имеющей три отдельных представления: абстрактный синтаксис, правила корректного построения выражений и семантику. Рассмотрение семантики языка UML предполагает некоторый «полуформальный» стиль изложения, который объединяет естественный и формальный языки для представления базовых понятий и правил их расширения.

Семантика определяется для двух видов объектных моделей: структурных моделей и моделей поведения. Структурные модели, известные также как статические модели, описывают структуру сущностей или компонентов некоторой системой, включая их классы, интерфейсы, атрибуты и отношения. Модели поведения, называемые иногда динамическими моделями, описывают поведение или функционирование объектов системы, включая их методы, взаимодействие и сотрудничество между ними, а также процесс изменения состояний отдельных компонентов и системы в целом.

Для решения столь широкого диапазона задач моделирования разработана достаточно полная семантика для всех компонентов графической нотации. Требования семантики языка UML конкретизируются при построении отдельных видов диаграмм. Нотация языка UML включает в себя описание отдельных семантических элементов, которые могут применяться при построении диаграмм.

Формальное описание самого языка UML основывается на некоторой общей иерархической структуре модельных представлений, состоящей из четырех уровней:

- мета-мета-модель;
- мета-модель;
- модель;
- объекты пользователя.

Уровень мета-мета-модели образует исходную формально-логическую основу для всех мета-модельных представлений. Главное предназначение этого уровня состоит в том, чтобы определить язык для спецификации мета-модели. Мета-мета-модель определяет модель языка UML на самом высоком уровне абстракции и является наиболее компактным ее описанием. С другой стороны, мета-мета-модель может специфицировать несколько мета-моделей, чем достигается потенциальная гибкость включения дополнительных понятий. Примерами понятий этого уровня служат метакласс, метаатрибут, метаоперация.

Следует отметить, что семантика мета-мета-модели не входит в описание языка UML. С одной стороны, это делает язык UML более простым для изучения, поскольку не требует знания общей теории формальных языков и формальной логики. С другой стороны, наличие мета-мета-модели придает языку UML черты формально-логического языка, которые необходимы ему для того, чтобы обладать свойством непротиворечивости. Если эти особенности могут представляться мало интересными для многих программистов, то разработчики инструментальных средств никак не могут их игнорировать.

Метамоделю является экземпляром или конкретизацией мета-метамоделю. Главная задача этого уровня – определить язык для спецификации моделей. Этот уровень является более конструктивным, чем предыдущий, поскольку обладает более развитой семантикой базовых понятий. Все основные понятия языка UML – это понятия уровня метамоделю. Примеры таких понятий: класс, атрибут, операция, компонент, ассоциация и многие другие.

Модель в контексте языка UML является экземпляром метамоделю в том смысле, что любая конкретная модель системы должна использовать только понятия метамоделю, конкретизировав их применительно к данной ситуации. Это уровень для описания информации о конкретной предметной области. Однако если для построения модели используются понятия языка UML, то необходима полная согласованность понятий уровня модели с базовыми понятиями языка UML уровня метамоделю. Примерами понятий уровня модели могут служить, например, имена полей проектируемой базы данных, такие как: имя и фамилия сотрудника, возраст, должность, адрес, телефон. При этом данные понятия используются лишь как имена соответствующих информационных атрибутов.

Конкретизация понятий модели происходит на уровне объектов пользователя. При этом совокупность объектов пользователя рассматривается как отдельный экземпляр модели, поскольку содержит конкретную информацию относительно того, чему в действительности соответствуют те или иные понятия модели. Примером объекта может служить следующая запись в проектируемой базе данных: "Илья Петров, 30 лет, иллюзионист, ул. Невидимая, 10-20, 100-0000".

Описание семантики языка UML предполагает рассмотрение базовых понятий только уровня метамоделю, который представляет собой пример или частный случай уровня мета-метамоделю. Метамоделю UML является по своей сути, скорее логической моделью, чем физической или моделью реализации. Особенность, логической модели заключается в том, что она концентрирует внимание на декларативной или концептуальной семантике, опуская детали



конкретной физической реализации моделей. При этом отдельные реализации, использующие данную логическую метамодель, должны быть согласованы с ее семантикой, а также поддерживать возможности импорта и экспорта отдельных логических моделей.

В то же время, логическая метамодель может быть реализована различными способами для обеспечения требуемого уровня производительности и надежности соответствующих инструментальных средств. В этом заключается недостаток логической модели, которая не содержит, на уровне семантики требований, обязательных для ее эффективной последующей реализации. Однако согласованность метамодели с конкретными моделями реализации является обязательной для всех разработчиков программных средств, обеспечивающих поддержку языка UML.

Метамодель языка UML имеет довольно сложную структуру, которая включает в себя около 90 метаклассов, более 100 метаассоциаций и 50 стереотипов, число которых возрастает с появлением новых версий языка. Чтобы справиться с этой сложностью языка UML, все его элементы организованы специальным образом в логически связанные подмножества, получившие названия пакетов. Поэтому рассмотрение языка UML на метамодельном уровне заключается в описании трех его наиболее общих логических блоков или пакетов: основные элементы, элементы поведения и управление моделями.

Для описания языка UML используются средства самого языка, и одним из таких средств является пакет. В общем случае пакет служит для группировки элементов модели. При этом сами элементы модели, которыми могут быть производственные сущности, отнесенные к одному пакету, выступают в роли единого целого. Пакеты, так же как и другие элементы модели, могут быть вложены в другие пакеты. Важной особенностью языка UML является тот факт, что все виды элементов модели UML могут быть организованы в пакеты.

Пакет - основной способ организации элементов модели в языке UML. Каждый пакет владеет всеми своими элементами, т. е. теми элементами, ко-

торые включены в него. Про соответствующие элементы пакета говорят, что они принадлежат пакету или входят в него. При этом каждый элемент может принадлежать только одному пакету. В свою очередь, одни пакеты могут быть вложены в другие пакеты. В этом случае первые называются подпакетами, поскольку все элементы подпакета будут принадлежать более общему пакету. Тем самым для элементов модели задается отношение вложенности пакетов, которое представляет собой иерархию.

Для графического представления иерархий могут использоваться графы специального вида, которые называются деревьями. Однако в языке UML эти графические обозначения настолько модифицированы, что соответствующие ассоциации с общетеоретическими понятиями могут представлять определенную трудность. Тем не менее, подчеркивается важность умения ассоциировать специальные конструкции языка UML с соответствующими понятиями теории множеств и системного моделирования, что, в некотором смысле, формирует стиль мышления системного аналитика. В противном случае не исключены досадные ошибки не только на начальном этапе концептуализации предметной области, но и в процессе построения различных представлений систем.

В языке UML для визуализации пакетов разработана специальная символика или графическая нотация, которой мы и будем пользоваться в дальнейшем. Именно с описания этой системы обозначений мы приступим к изучению основных элементов данного языка.

Для графического изображения пакетов на диаграммах применяется специальный графический символ - большой прямоугольник с небольшим прямоугольником, присоединенным к левой части верхней стороны первого (рисунок 7). Можно сказать, что визуально символ пакета напоминает пиктограмму папки в популярном графическом интерфейсе. Внутри большого прямоугольника может записываться информация, относящаяся к данному пакету. Если такой информации нет, то внутри большого прямоугольника записывается имя пакета, которое должно быть уникальным в пределах рас-

сматриваемой модели (рисунок 7, а). Если же такая информация имеется, то имя пакета записывается в верхнем маленьком прямоугольнике (рисунок 7, б).

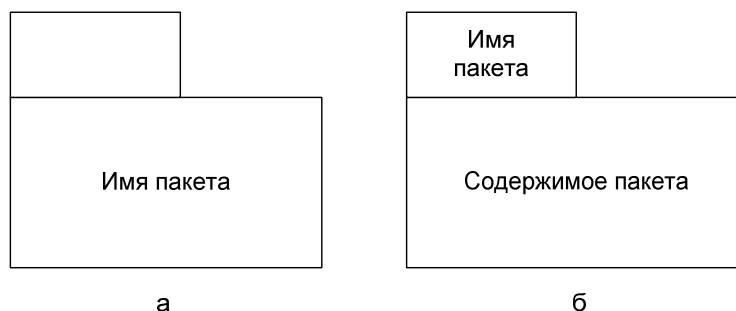


Рисунок 7 - Графическое изображение пакетов в языке UML

Говоря об имени пакета, следует остановиться на общем соглашении об именах в языке UML. В данном случае именем пакета может быть строка текста, содержащее любое число букв, цифр и некоторых специальных знаков. С целью удобства спецификации пакетов принято в качестве их имен использовать существительные, возможно, с пояснительными словами, например, контроллер, графический интерфейс, форма ввода данных.

Перед именем пакета помещается строка текста, содержащая некоторое ключевое слово. Такими ключевыми словами являются заранее определенные в языке UML слова, которые получили название стереотипов. Стереотипами для пакетов являются слова *facade*, *framework*, *stub* и *topLevel*. В качестве содержимого пакета могут выступать имена его отдельных элементов и их свойства, такие как видимость элементов за пределами пакета.

Конечно, сами по себе пакеты могут найти ограниченное применение, поскольку содержат лишь информацию о входящих в их состав элементах модели. Не менее важно представить графически отношения, которые могут иметь место между отдельными пакетами. Как и в теории графов, для визуализации отношений в языке UML применяются отрезки линий, внешний вид которых имеет смысловое содержание.

Одним из типов отношений между пакетами является отношение вложенности или включения пакетов друг в друга. С одной стороны, в языке

UML это отношение может быть изображено без использования линий простым размещением одного пакета-прямоугольника внутри другого пакета-прямоугольника (рисунок 8). Так, в данном случае пакет с именем Пакет\_1 содержит в себе два подпакета: Пакет\_2 и Пакет\_3. На рисунке 9 показан пример вложенности пакетов с помощью визуализации отношения включения.

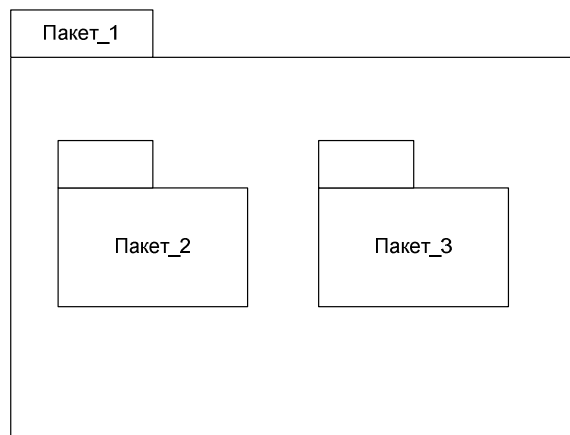


Рисунок 8 - Графическое изображение вложенности пакетов друг в друга

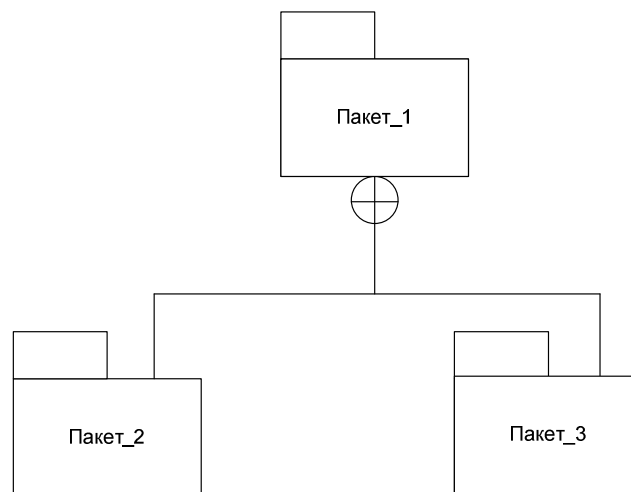


Рисунок 9 - Графическое изображение вложенности пакетов друг в друга с помощью явной визуализации отношения включения

Пакет Элементы ядра специфицирует базовые конструкции, требуемые для описания исходной метамодели, и определяет архитектурный "скелет" для присоединения дополнительных конструкций языка, таких как метаклассы, метаассоциации и метаатрибуты. Хотя пакет Элементы ядра содержит се-

мантику, достаточную для определения всей оставшейся части языка UML, он не является мета-метамоделью UML.

В этот пакет входят основные метаклассы языка UML: класс (Class), атрибут (Attribute), ассоциация (Association), ассоциация-класс (AssociationClass), конец ассоциации (AssociationEnd), свойство поведения (BehavioralFeature), классификатор (Classifier), ограничение (Constraint), тип данных (DataType), зависимость (Dependency), элемент (Element), право на элемент (ElementOwnership), свойство (Feature), обобщение (Generalization), элемент отношения обобщения (GeneralizableElement), интерфейс (Interface), метод (Method), элемент модели (ModelElement), пространство имен (Namespace), операция (Operation), параметр (Parameter), структурное свойство (StructuralFeature), правила правильного построения выражений (Well-formedness rules).

Пакет Механизмы расширения специфицирует порядок включения в модель элементов с уточненной семантикой, а также модификацию отдельных компонентов языка UML для более точного отражения специфики моделируемых систем. Механизм расширения определяет семантику для стереотипов, ограничений и помеченных значений. Хотя, язык UML обладает богатым множеством понятий и нотаций для моделирования типичных программных систем, реально разработчик может столкнуться с необходимостью включить в модель дополнительные свойства или нотации, которые не определены явно в языке UML. При этом разработчики часто сталкиваются с необходимостью включения в модель графической информации, такой, например, как дополнительные значки и украшения.

Для этой цели в языке UML предусмотрены три механизма расширения, которые могут использоваться совместно или отдельно для определения новых элементов модели отличающимися семантикой, нотацией и свойствами, от специфицированных в метамоделе языка UML элементов. Такими механизмами являются: ограничение (Constraint), стереотип (Stereotype) и помеченное значение (TaggedValue).

Таким образом, механизмы расширения языка UML предназначены для выполнения следующих задач:

уточнения или специализации достаточно общих модельных элементов при разработке конкретных моделей на языке UML;

определения таких расширений языка UML, которые зависят от специфики моделируемого процесса или от языка реализации программного кода;

присоединения произвольной семантической или несемантической информации к элементам модели.

Наиболее важные из встроенных механизмов расширения основываются на понятии стереотип. Стереотипы обеспечивают некоторый способ классификации модельных элементов на уровне объектной модели и возможность добавления в язык UML "виртуальных" метаклассов с новыми атрибутами и семантикой. Другие встроенные механизмы расширения основываются на понятии списка свойств, содержащего помеченные значения и ограничения. Эти механизмы обеспечивают пользователю возможность включения дополнительных свойств и семантики непосредственно в отдельные элементы модели.

Пакет Типы данных специфицирует различные типы данных, которые могут использоваться в языке UML. Этот пакет имеет более простую по сравнению с другими пакетами внутреннюю структуру и описание, поскольку предполагается, что семантика соответствующих понятий хорошо известна.

В метамодели UML типы данных используются для объявления типов атрибутов классов. Они записываются в форме строк текста на диаграммах и не имеют отдельного значка "тип данных". Благодаря этому происходит уменьшение размеров диаграмм без потери информации. Однако каждая из одинаковых записей для некоторого типа данных должна соответствовать одному и тому же типу данных в модели. При этом типы данных, используемые в описании языка UML, могут отличаться от типов данных, которые определяет разработчик для своей модели на языке UML. Типы данных в последнем случае

будут являться частным случаем или экземплярами метакласса типы данных, который определен в метамодели.

При задании типа данных наиболее часто применяется неформальная конструкция, которая получила название перечисления. Пакет Элементы поведения является самостоятельной компонентой языка UML и, как следует из его названия, специфицирует динамику поведения в нотации UML. Пакет Элементы поведения состоит из подпакетов: Общее поведение, Кооперации, Варианты использования, Конечные автоматы, Графы деятельности и Действия (рисунок 10). Ниже дается краткая характеристика каждого из этих подпакетов.

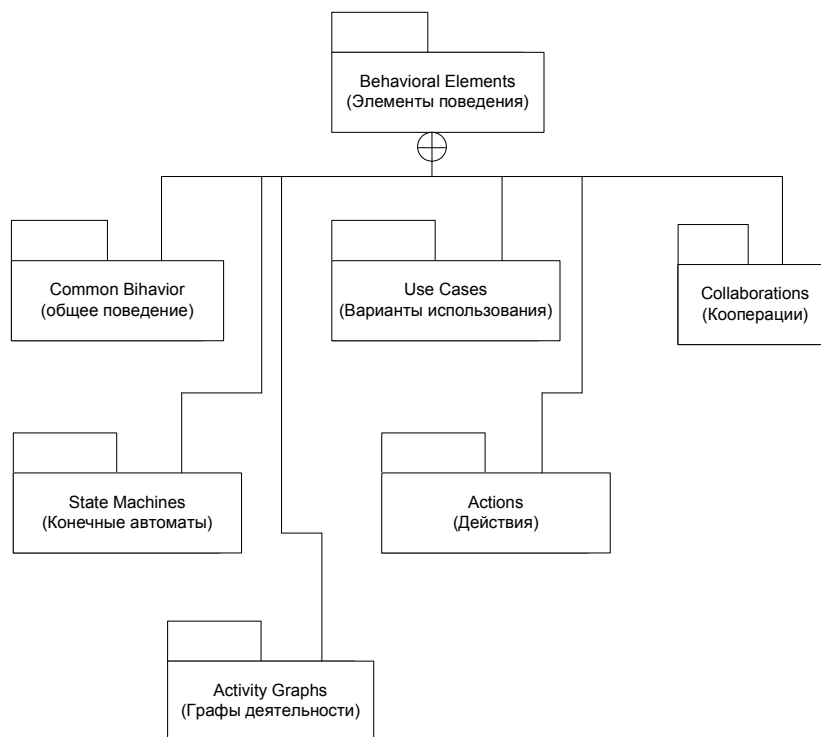


Рисунок 10 – Подпакеты пакета Элементы поведения языка UML

Пакет Общее поведение является наиболее фундаментальным из всех подпакетов и определяет базовые понятия ядра, необходимые для всех элементов поведения. В этом пакете специфицирована семантика для динамических элементов, которые включены в другие, подпакеты элементов поведения. В пакет Общее поведение входит достаточно большое число элементов, таких как: экземпляр (Instance), объект (Object), исключение

(Exception), связь (Link), сигнал (Signal), значение данных (DataValue), процедура (Procedure), связь атрибутов (AttributeLink) и т.д.

Наиболее важным понятием пакета *Общее поведение* является объект. Под объектом в языке UML понимается отдельный экземпляр или пример класса, структура и поведение которого полностью определяется порождающим этот объект классом. Предполагается, что все без исключения объекты, порожденные одним и тем же классом, имеют совершенно одинаковую структуру и поведение, хотя каждый из этих объектов может иметь свое собственное множество связей атрибутов. При этом каждая связь атрибута относится к некоторому экземпляру, обычно к значению данных. Это множество может быть модифицировано согласно спецификации отдельного атрибута в описании класса.

Рассматривая данный пакет, следует отметить, что в языке UML под поведением понимается не только процесс изменения атрибутов объектов в результате выполнения операций над их значениями, но и такие процедуры, как создание и уничтожение самих объектов. При этом динамика взаимодействия объектов, которая определяет их поведение, описывается с помощью специальных понятий, таких как сигналы и действия.

Пакет *Кооперации* специфицирует контекст поведения при использовании элементов модели для выполнения отдельной задачи. В нем задается семантика понятий, которые необходимы для ответа на вопрос "Как различные элементы модели взаимодействуют между собой с точки зрения структуры?". Этот пакет использует конструкции, определенные в пакетах *Основные элементы языка UML* и *Общее поведение*.

В частности, в пакет *Кооперации* входят элементы: кооперация (Collaboration), взаимодействие (Interaction), сообщение (Message), роль ассоциации (AssociationRole), роль классификатора (ClassifierRole), роль конца ассоциации (AssociationEndRole). Как можно догадаться из названия пакета, его элементы непосредственно используются при построении диаграмм кооперации. Понятие кооперации имеет важное значение для представления



взаимодействия элементов модели с точки зрения классификаторов и ассоциаций.

Пакет Варианты использования специфицирует поведение при включении в модель специальных конструкций, которые в языке UML называются актерами и вариантами использования. Эти понятия служат для определения функциональности моделируемой сущности, такой как система. Особенность элементов этого пакета состоит в том, что они используются для первоначального определения поведения сущности без спецификации ее внутренней структуры.

Объединение в языке UML средств концептуализации исходных требований к проектируемой системе и структуризации ее внутренних компонентов с достаточно богатой семантикой применяемых для этого элементов имеет важное значение для построения адекватных моделей сложных систем. Действительно, ограниченность традиционных моделей состоит в том, что они не позволяют одновременно описывать статические или структурные свойства системы и динамику ее поведения. Попытки совместного решения данных проблем сталкиваются с отсутствием единой символики для обозначения близких по смыслу системных понятий. Язык UML удачно выделяет базовые понятия, которые необходимы при построении таких моделей. Более того, если этих понятий окажется недостаточно для разработки какого-то конкретного проекта, то сам разработчик может расширить базовые понятия и даже включить в модель собственные конструкции, согласованные с метамоделью языка UML.

В пакете Варианты использования кроме уже упомянутых элементов актер (Actor) и вариант использования (UseCase) входят: расширение (Extend), точка расширения (ExtensionPoint), включение (Include) и экземпляр варианта использования (UseCaseInstance).

Пакет Конечные автоматы специфицирует поведение при построении моделей с использованием систем переходов для конечного множества состояний. В нем определено множество понятий, которые необходимы для

представления поведения модели в виде, дискретного пространства с конечным числом состояний и переходов.

Формализм конечного автомата, который используется в языке UML, отличается от формализма теории автоматов своей объектной ориентацией. Конечные автоматы являются основным средством моделирования поведения различных элементов языка UML. Они, например, могут использоваться для моделирования поведения индивидуальных сущностей, таких как экземпляры классов или объектов, а также для спецификации взаимодействий между сущностями, такими как кооперации. Формализм конечных автоматов дополнительно обеспечивает семантический базис для графов деятельности, которые являются частным случаем конечного автомата.

В пакет Конечные автоматы входят элементы: состояние (State), переход (Transition), событие (Event), конечный автомат (StateMachine); простое состояние (SimpleState), составное состояние (CompositeState), псевдосостояние (PseudoState), конечное состояние (FinalState), сторожевое условие (Guard) и некоторые другие.

Одним из ключевых понятий: при моделировании динамических свойств систем является состояние. При этом под состоянием в языке UML понимается абстрактный метакласс, используемый для моделирования ситуации или процесса, в ходе которых имеет место (обычно неявное) выполнение некоторого инвариантного условия. Примером такого условия может быть состояние ожидания объектом выполнения некоторого внешнего события, например, запроса или передачи управления. С другой стороны, состояние может использоваться для моделирования динамических условий, таких как процесс выполнения некоторой деятельности. В этом случае момент начала выполнения деятельности является переходом объекта в соответствующее состояние.

В этом пакете специфицированы понятия, которые могут быть использованы для построения моделей процессов с использованием нетриггерных переходов. В нем определено множество понятий, которые

необходимы для представления логики протекания процессов и выполнения процедур или алгоритмов, включая бизнес-процессы и документооборот компаний и фирм.

В пакет Графы деятельности входят элементы: граф деятельности (ActivityGraph), разбиение (Partition), состояние действия (ActionState), состояние поддеятельности (SubactivityState), состояние вызова (CallState) и некоторые другие.

Пакет Действия является новым пакетом языка UML и специфицирует синтаксис и семантику выполняемых действий и процедур, включая семантику времени их выполнения. Этот пакет в свою очередь состоит из нескольких подпакетов, в которых определяются те или иные конкретные действия. Эти действия связаны с выполнением различных процедур, таких как создание и уничтожение объектов (CreateObjectAction и DestroyObjectAction), создание и уничтожение связей (CreateLinkAction и DestroyLinkAction), вычисление (Computation Actions), чтение и запись (Read Write Actions), передача сообщений (Messaging Actions) и т. д.

Пакет Управление моделями (Model Management) специфицирует базовые элементы языка UML, которые необходимы для формирования всех модельных представлений. Именно в нем определяется семантика модели (Model), пакета (Package) и подсистемы (Subsystem). Эти элементы служат своеобразными контейнерами для группировки других элементов модели.

Пакет является метаклассом в языке UML и предназначен для организации других элементов модели, таких как другие пакеты, классификаторы и ассоциации. Пакет может также содержать ограничения и зависимости между элементами модели в самом пакете. Предполагается, что каждый элемент пакета имеет видимость только внутри данного пакета. Это означает, что за пределами пакета никакой его элемент не может быть использован, если нет дополнительных указаний на импорт или доступ к отдельным элементам пакета. Со своей стороны, пакеты со всем своим содержимым определены в некотором пространстве имен, которое определяет

единственность использования имен всех элементов модели. Другими словами, имя каждого элемента модели должно быть единственным в некотором пространстве имен, которое, являясь само элементом модели, может быть вложено в более общее пространство имен.

Модель является подклассом пакета и представляет собой абстракцию физической системы, которая предназначена для вполне определенной цели. Именно эта цель предопределяет те компоненты, которые должны быть включены в модель, и те, рассмотрение которых не является обязательным. Другими словами, модель отражает релевантные аспекты физической системы, оказывающие непосредственное влияние на достижение поставленной цели. В прикладных задачах цель обычно задается в форме исходных требований к системе, которые, в свою очередь, в языке UML записываются в виде вариантов использования системы.

В языке UML для одной и той же физической системы могут быть определены различные модели, каждая из которых специфицирует систему различных точек зрения. Примерами таких моделей являются логическая модель, модель проектирования, модель вариантов использования и другие. При этом каждая такая модель имеет свою собственную точку зрения на физическую систему и свой собственный уровень абстракции. Модели, как и пакеты, могут быть вложенными друг в друга. Со своей стороны, пакет может включать в себя несколько различных моделей одной и той же системы, и в этом состоит один из важнейших механизмов разработки моделей на языке UML. В общем случае модель системы в контексте языка UML включает в себя модель анализа и модель проектирования, что с использованием обозначений пакетов может быть изображено следующим образом (рисунок 11).

Подсистема есть просто группировка элементов модели, которые специфицируют некоторое, простейшее поведение физической системы. В метамодели UML подсистема является подклассом, как пакета, так и классификатора. Элементы подсистемы делятся на две части — спецификацию поведения и его реализацию.

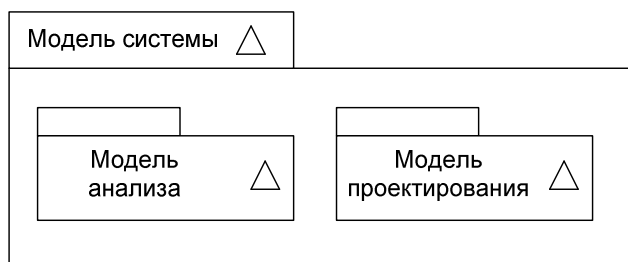


Рисунок 11 – Изображение модели системы в виде пакетов моделей анализа и проектирования

Для графического представления подсистемы применяется специальное обозначение — прямоугольник, как в случае пакета, но дополнительно разделенный на три секции (рисунок 12). При этом в верхнем маленьком прямоугольнике изображается символ, по своей форме напоминающий "вилку" и указывающий на подсистему. Имя подсистемы вместе с необязательными ключевым словом или стереотипом записывается внутри большого прямоугольника. Однако при наличии строк текста внутри большого прямоугольника имя подсистемы может быть записано рядом с обозначением "вилки".

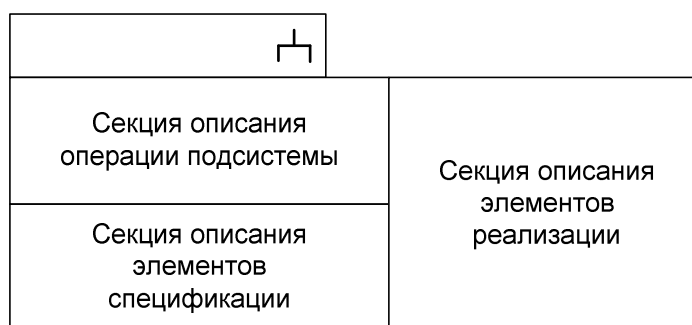


Рисунок 12 – Графическое изображение подсистемы в языке UML

Домашнее задание. Построить графическое изображение подсистемы в языке UML для выбранного объекта управления.

## СПЕЦИФИКА ОПИСАНИЯ МЕТАМОДЕЛИ ЯЗЫКА UML

Мета модель языка UML описывается на некотором полуформальном языке с использованием трех видов представлений:

- абстрактный синтаксис;
- правила правильного построения выражений;
- семантика.

Абстрактный синтаксис представляет собой модель для описания некоторой части языка UML, предназначенной для построения диаграмм классов на основе описаний систем на естественном языке. Возможности абстрактного синтаксиса в языке UML довольно ограничены и имеют отношение только к интерпретации обозначений отдельных компонентов диаграмм, связей между компонентами и допустимых дополнительных обозначений. К элементам абстрактного синтаксиса относятся некоторые ключевые слова и значения отдельных атрибутов базовых понятий уровня метамодели, которые имеют фиксированное обозначение в виде текста на естественном языке.

Правила правильного построения выражений используются для задания дополнительных ограничений или свойств, которыми должны обладать те или иные компоненты модели. Поскольку исходным понятием ООГГ является\* понятие класса, его общими свойствами должны обладать все экземпляры, которые в этом смысле должны быть инвариантны друг другу. Для задания этих инвариантных свойств классов и отношений необходимо использовать специальные выражения некоторого формального языка, в рамках UML получившего название языка объектных ограничений (Object Constraint Language, OCL).

Семантика языка UML описывается в основном на естественном языке, но может включать в себя некоторые дополнительные обозначения, вытекающие из связей определяемых понятии с другими понятиями. Семантика по-

нятий раскрывает их смысл или содержание. Сложность описания семантики языка UML заключается именно в метамодельном уровне представлений его основных конструкций. С одной стороны, понятия языка UML имеют абстрактный характер (ассоциация, композиция, агрегация, сотрудничество, состояние). С другой стороны, каждое из этих понятий допускает свою конкретизацию на уровне модели (сотрудник, отдел, должность, стаж).

Сложность описания семантики языка UML вытекает из этой двойственности понятий. Здесь мы должны придерживаться традиционных правил изложения, поскольку понимание семантики носит индуктивный характер и требует для своей интерпретации примеров уровня модели и объекта. Иллюстрация абстрактных понятий на примере конкретных свойств и отношений, а также их значений позволяет акцентировать внимание на общих инвариантах этих понятий, что совершенно необходимо для понимания их семантики.

Таким образом, метамодель языка UML может рассматриваться как комбинация графической нотации (специальных обозначений), некоторого формального языка и естественного языка. При этом следует иметь в виду, что существует некоторый теоретический предел, который ограничивает описание метамодели средствами самой метамодели. Именно в подобных случаях используется естественный язык, обладающий наиболее выразительными возможностями.

Хотя сам термин "естественный язык" далеко не однозначен и порождает целый ряд дополнительных вопросов, здесь мы ограничимся его трактовкой в форме обычного текста на русском и, возможно, английском языках. Как бы ни хотелось некоторым из отечественных разработчиков, полностью избежать использования английского при описании языка UML не удастся. Тем не менее, если исключить написание стандартных элементов и некоторых ключевых слов, то во всех остальных случаях под естественным языком можно понимать русский без специальных оговорок.

Для придания формального характера моделям UML использование естественного языка должно строго соответствовать определенным правилам. Например, описание семантики языка UML может включать в себя фразы типа "Сущность А обладает способностью" или "Сущность Б есть сущность В". В каждом из этих случаев мы будем понимать смысл фраз, руководствуясь традиционным пониманием предложений русского языка. Однако этого может оказаться недостаточно для более формального представления знаний о рассматриваемых сущностях. Тогда необходимо дополнительно специфицировать семантику этих простых фраз, для чего рекомендуется использовать следующие правила:

явно указывать в тексте экземпляр некоторого метакласса. Речь идет о том, что в естественной речи мы часто опускаем слово "пример" или "экземпляр", говоря просто "класс". Так, фразу "Атрибут возраст класса сотрудник имеет значение 30 лет" следует записать более точно, а именно: "Атрибут возраст экземпляра класса сотрудник имеет значение 30 лет";

в каждый момент используется только то значение слова, которое приписано имени соответствующей конструкции языка UML. Все дополнительные особенности семантики должны быть указаны явным образом, без каких бы то ни было неявных предположений;

термины языка UML могут включать, только один из допустимых префиксов, таких как под-, супер- или мета-. При этом сам термин с префиксом записывается одним словом.

В дополнение к этому будут использоваться следующие правила выделения текста:

если используются ссылки на конструкции языка UML, а не на их представления в метамодели, следует применять обычный текст, без какого бы то ни было выделения;

имена метаклассов являются элементом нотации языка UML и представляют собой существительное и, возможно, присоединенное к нему прилагательное. В этом случае имя метакласса на английском записывается одним



словом с выделением каждой составной части имени заглавной буквой (например, ModelElement, StructuralFeature);

имена метаассоциаций и ассоциаций классов записываются аналогичным образом (например, ElementReference);

имена других элементов языка UML также записываются одним словом, но должны начинаться со строчной буквы (например, owned Element, all-Contents);

имена метаатрибутов, которые принимают булевы значения, всегда начинаются с префикса "is" (например, isAbstract);

перечислимые типы должны всегда заканчиваться словом "Kind" (например, AggregationKind);

при ссылках в тексте на метаклассы, метаассоциации, метаатрибуты и т. д. должны всегда использоваться в точности те их имена, которые указаны в модели;

имена стандартных обозначений (стереотипов) заключаются в угловые кавычки и начинаются со строчной буквы (например, «type»).

Рассмотренные выше правила выделения текста имеют непосредственное отношение к англоязычным терминам языка UML.

при описании семантики языка UML все имена его стандартных элементов (метаклассов, метаассоциаций, метаатрибутов) допускается записывать на русском с дополнительным указанием оригинального имени на английском языке. При этом, хотя имена стандартных элементов могут состоять из нескольких слов, согласно сложившейся отечественной традиции, будем их записывать отдельно (например, класс ассоциации, элемент модели, пространство имен);

при разработке конкретных моделей систем в форме диаграмм языка UML целесообразно применять оригинальные англоязычные термины, придерживаясь описанных ранее правил (кроме, возможно, пояснительного текста на русском). Причина этой рекомендации вполне очевидна - последующая инструментальная реализация модели может оказаться не-

возможной, если не следовать оригинальным правилам выделения текста в языке UML. Это правило не распространяется на отдельные примеры и фрагменты диаграмм, которые приводятся в тексте книги с чисто иллюстративными целями и лишь раскрывают особенности использования стандартных элементов языка UML.

В рамках языка UML все представления о модели сложной системы фиксируются в виде специальных графических конструкций, получивших название диаграмм. В терминах языка UML определены следующие виды диаграмм:

диаграмма вариантов использования (use case diagram);

диаграмма классов (class diagram);

диаграммы поведения (behavior diagrams);

диаграммы взаимодействия (interaction diagrams);

диаграмма кооперации (collaboration diagram);

диаграмма последовательности (sequence diagram);

диаграмма состояний (statechart diagram);

диаграмма деятельности (activity diagram);

диаграммы реализации (implementation diagrams);

диаграмма компонентов (component diagram);

диаграмма развертывания (deployment diagram).

Из перечисленных диаграмм некоторые служат для обозначения двух и более других подвидов диаграмм.

Перечень этих диаграмм и их названия являются каноническими в том смысле, что представляют собой неотъемлемую часть графической нотации языка UML. Более того, процесс ООАП неразрывно связан с процессом построения этих диаграмм. При этом совокупность построенных таким образом диаграмм является самодостаточной в том смысле, что в них содержится вся информация, которая необходима для реализации проекта сложной системы.

Каждая из этих диаграмм детализирует и конкретизирует различные представления о модели сложной системы в терминах языка UML. При этом

диаграмма вариантов использования представляет собой наиболее общую концептуальную модель сложной системы, которая является исходной для построения всех остальных диаграмм. Диаграмма классов является, по своей сути, логической моделью, отражающей статические аспекты структурного построения сложной системы.

Диаграммы поведения также являются разновидностями логической модели, которые отражают динамические аспекты функционирования сложной системы. И, наконец, диаграммы реализации служат для представления физических компонентов сложной системы и поэтому относятся к ее физической модели. Таким образом, интегрированная модель сложной системы в нотации UML может быть представлена в виде совокупности указанных выше диаграмм (рисунок 13).

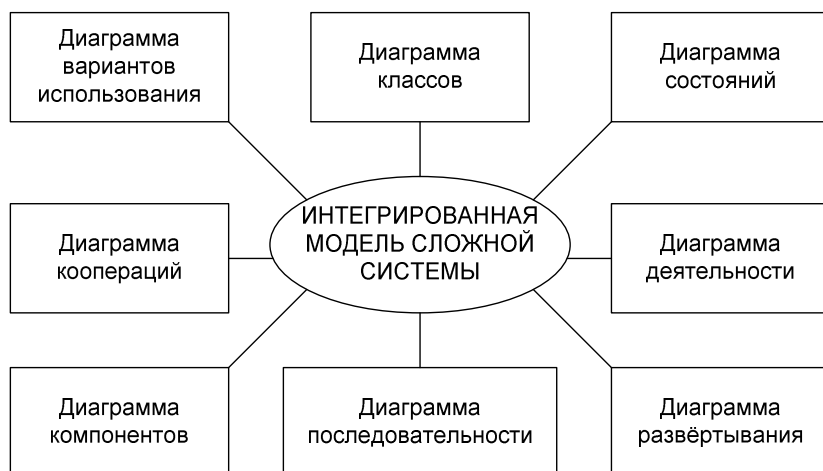


Рисунок 13 – Интегрированная модель сложной системы в нотации UML

Большинство перечисленных ранее диаграмм являются в своей основе графами специального вида, состоящими из вершин в форме геометрических фигур, которые связаны между собой ребрами или дугами. Поскольку информация, которую содержит в себе граф, имеет в основном топологический характер, ни геометрические размеры, ни расположение элементов диаграмм (за некоторыми исключениями, такими как диаграмма последовательностей, с метрической осью времени) не имеют принципиального значения.

Для диаграмм языка UML существуют три типа визуальных графических обозначений, которые важны с точки зрения заключенной в них информации.

- геометрические фигуры на плоскости, играющие роль вершин графов соответствующих диаграмм. При этом сами геометрические фигуры выступают в роли графических примитивов языка UML, а форма этих фигур (прямоугольник, эллипс) должна строго соответствовать изображению отдельных элементов языка UML (класс, вариант использования, состояние, деятельность). Графические примитивы языка UML имеют фиксированную семантику, переопределять которую пользователям не допускается. Графические примитивы должны иметь собственные имена, а возможно, и другой текст, который содержится внутри границ соответствующих геометрических фигур или, как исключение, вблизи этих фигур;

графические взаимосвязи, которые представляются различными линиями на плоскости. Взаимосвязи в языке UML обобщают понятие дуг и ребер из теории графов, но имеют менее формальный характер и более развитую семантику;

специальные графические символы, изображаемые вблизи от тех или иных визуальных элементов диаграмм и имеющие характер дополнительной спецификации (украшений).

Все диаграммы в языке UML изображаются с использованием фигур на плоскости. Однако некоторые из фигур (например, кубы) могут представлять собой двумерные проекции трехмерных геометрических тел, но и в этом случае они рисуются как фигура на плоскости.

Таким образом, в языке UML используется четыре основных вида конструкций.

графические фигуры на плоскости. Такие двумерные символы изображаются с помощью некоторых геометрических фигур и могут иметь различную высоту и ширину с целью размещения внутри этих фигур других конструкций языка UML. Наиболее часто внутри таких символов помещаются строки текста, которые уточняют семантику или фиксируют отдельные свойства

соответствующих элементов языка UML. Информация, содержащаяся внутри фигур, имеет важное значение для конкретной модели проектируемой системы, поскольку регламентирует реализацию соответствующих элементов в программном коде;

пути, которые представляют собой последовательности из отрезков линий, соединяющих отдельные графические символы. При этом концевые точки отрезков линий должны обязательно соприкасаться с геометрическими фигурами, служащими для обозначения вершин диаграмм, как принято в теории графов. С концептуальной точки зрения путям в языке UML придается особое значение, поскольку они являются простыми топологическими сущностями. С другой стороны, отдельные части пути или сегменты могут не существовать сами по себе вне содержащего их пути. Пути всегда соприкасаются с другими графическими символами на обеих границах соответствующих отрезков линий. Другими словами, пути не могут обрываться на диаграмме линией, которая не соприкасается ни с одним графическим символом. Как уже отмечалось, пути могут иметь в качестве окончания или терминатора специальную графическую фигуру - значок, который изображается на одном из концов линий;

значки или пиктограммы. Значок представляет собой графическую фигуру фиксированного размера и формы. Она не может увеличивать свои размеры, чтобы разместить внутри себя дополнительные символы. Значки могут размещаться как внутри других графических конструкций, так и вне них. Примерами значков могут служить окончания связей элементов диаграмм или некоторые другие дополнительные обозначения (украшения);

строки текста. Служат для представления различных видов информации в некоторой грамматической форме. Предполагается, что каждое использование строки текста должно соответствовать синтаксису в нотации языка UML, посредством которого может быть реализован грамматический разбор этой строки. Последний необходим для получения полной информации о модели. Например, строки текста в различных секциях обозначения класса могут

соответствовать атрибутам этого класса или его операциям. На использование строк накладывается важное условие - семантика всех допустимых символов должна быть заранее определена в языке UML или служить предметом его расширения в конкретной модели;

При графическом изображении диаграмм следует придерживаться основных рекомендаций.

каждая диаграмма должна служить законченным представлением соответствующего фрагмента моделируемой предметной области. Речь идет о том, что в процессе разработки диаграммы необходимо учесть все сущности, важные с точки зрения контекста данной модели и диаграммы. Отсутствие тех или иных элементов на диаграмме служит признаком неполноты модели и может потребовать ее последующей доработки;

все сущности на диаграмме модели должны быть одного концептуального уровня. Здесь имеется в виду согласованность не только имен одинаковых элементов, но и возможность вложения отдельных диаграмм друг в друга для достижения полноты представлений. В случае достаточно сложных моделей систем желательно придерживаться стратегии последовательного уточнения или детализации отдельных диаграмм;

вся информация о сущностях должна быть, явно представлена на диаграммах. Речь идет о том, что хотя в языке UML при отсутствии некоторых символов на диаграмме могут быть использованы их значения по умолчанию (например, в случае неявного указания видимости атрибутов и операций классов), необходимо стремиться к явному указанию свойств всех элементов диаграмм;

диаграммы не должны содержать противоречивой информации. Противоречивость модели может служить причиной серьезнейших проблем при ее реализации и последующем использовании на практике. Например, наличие замкнутых путей при изображении отношений агрегирования или композиции приводит к ошибкам в программном коде, который будет реализовывать соответствующие классы. Наличие элементов с одинаковыми

именами и различными атрибутами свойств, в одном пространстве имен, также приводит к неоднозначной интерпретации, и может служить источником проблем.

Наличие в инструментальных CASE-средствах встроенной поддержки визуализации различных диаграмм языка UML позволяет в некоторой степени исключить ошибочное использование тех или иных графических символов, а также контролировать уникальность имен элементов диаграмм. Однако, поскольку вся ответственность за окончательный контроль непротиворечивости-модели лежит на разработчике, необходимо помнить, что неформальный характер языка UML может служить источником потенциальных ошибок, которые в полном объеме вряд ли будут выявлены инструментальными средствами. Именно это обстоятельство требует от всех разработчиков глубокого знания нотации и семантики всех элементов языка UML.

диаграммы не следует перегружать текстовой информацией. Принято считать, что визуализация модели является наиболее эффективной, если она содержит минимум пояснительного текста. Как правило, наличие больших фрагментов развернутого текста служит признаком недостаточной проработанности модели или её неоднородности, когда в рамках одной модели представляется различная по характеру информация. Поскольку общая декомпозиция модели на отдельные типы диаграмм способна удовлетворить самые детальные представления разработчиков о системе, важно уметь правильно отображать те или иные сущности и аспекты моделирования в соответствующие элементы канонических диаграмм;

каждая диаграмма должна быть самодостаточной для правильной интерпретации всех ее элементов и понимания семантики всех используемых графических символов. Любые пояснительные тексты, которые не являются собственными элементами диаграммы (например, комментариями), не должны приниматься во внимание разработчиками. В то же время отдельные общие фрагменты могут уточняться или детализироваться на

других диаграммах этого же типа, образуя вложенные или подчиненные диаграммы. Таким образом, модель системы на языке UML представляет собой пакет иерархически вложенных диаграмм, детализация которых должна быть достаточной для последующей генерации программного кода, реализующего проект соответствующей системы;

количество типов диаграмм для конкретной модели приложения не является строго фиксированным. Речь идёт о том, что для простых приложений нет необходимости строить все без исключения типы диаграмм. Некоторые из них могут просто отсутствовать в проекте системы, и этот факт не будет считаться ошибкой разработчика. Например, модель системы может не содержать диаграмму развертывания для приложения выполняемого локально на компьютере пользователя. Важно понимать, что перечень диаграмм зависит от специфики конкретного проекта системы;

любая из моделей системы должна содержать только те элементы, которые определены в нотации языка UML. Имеется в виду требование начинать разработку проекта, используя только те конструкции, которые уже определены в метамодели UML. Как показывает практика, этих конструкций вполне достаточно для представления большинства типовых проектов программных систем. И только в случае отсутствия необходимых базовых элементов языка UML следует использовать механизмы их расширения для адекватного представления конкретной модели системы. При этом не допускается переопределение семантики тех элементов, которые отнесены к базовой нотации метамодели языка UML.

Как не вспомнить в этой связи известный афоризм, получивший название "бритва Оккама". Суть изречения средневекового ученого-схоласта в достаточно вольном переводе сводится к следующему: "Не плоди рассуждений больше сущности". Другими словами, нужно стремиться дополнительно не усложнять и без того сложные модели систем, а по возможности упрощать их за счет унификации обозначений и семантики базовых элементов.



Процесс построения отдельных типов диаграмм имеет свои особенности, которые тесно связаны с семантикой элементов этих диаграмм. Сам процесс ООАП в контексте языка UML получил специальное название - рациональный унифицированный процесс (Rational Unified Process, RUP). Концепция RUP и основные его элементы разработаны А. Джекобсоном в ходе его работы над языком UML.

При дословном переводе термина RUP теряется некоторая дополнительная семантическая окраска, связанная с двусмысленным толкованием английского Rational. Речь идет о другом варианте перевода - унифицированный процесс от фирмы Rational Software, сотрудниками которой являются с некоторых пор его разработчики, включая упомянутого выше А. Джекобсона.

Суть концепции RUP заключается в последовательной декомпозиции или разбиении процесса ООАП на отдельные этапы, на каждом из которых осуществляется разработка соответствующих типов канонических диаграмм модели системы. При этом изначальных этапах RUP, строятся логические представления статической модели структуры системы, затем - логические представления модели поведения, и лишь после этого - физические представления модели системы. Как нетрудно заметить, в результате RUP должны быть построены канонические диаграммы на языке UML, при этом последовательность их разработки может соответствовать их последовательной нумерации.

Домашнее задание. Построить и описать метамодель языка UML для выбранного объекта управления.

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАнных С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА UML

Реляционная модель данных в подавляющем большинстве случаев вполне достаточна для моделирования любых данных. Однако проектирование базы данных в терминах схемы отношений на практике может вызвать большие затруднения, т.к. в этой модели изначально не предусмотрены механизмы описания семантики предметной области. С этим связано появление семантических моделей данных, которые позволяют описать конкретную предметную область гораздо ближе к интуитивному пониманию и, в то же время, достаточно формальным образом.

Часто семантическое моделирование используется только на первой стадии проектирования базы данных. Концептуальная схема будущей БД строится на основе некоторой семантической модели, а затем вручную преобразуется к реляционной схеме.

Существуют методики, четко описывающие все этапы такого преобразования.

При таком подходе отсутствует потребность в дополнительных программных средствах, поддерживающих семантическое моделирование. Требуется только владение основами выбранной семантической модели и правилами преобразования концептуальной схемы в реляционную.

Следует заметить, что многие начинающие проектировщики баз данных недооценивают важность семантического моделирования вручную. Зачастую это воспринимается как дополнительная и излишняя работа. Эта точка зрения является абсолютно неверной. Во-первых, построение мощной и наглядной концептуальной схемы БД позволяет более полно оценить специфику моделируемой предметной области и избежать возможных ошибок на стадии проектирования схемы реляционной БД. Во-вторых, на этапе семантического моделирования производится очень важная документация (хотя бы в виде

вручную нарисованных диаграмм и комментариев к ним), которая может оказаться полезной не только при проектировании схемы реляционной БД, но и при эксплуатации, сопровождении и развитии уже заполненной БД.

Неоднократно приходилось наблюдать жизненные ситуации, когда отсутствие такого рода документации существенно затрудняло выполнение даже небольших изменений в схеме существующей реляционной БД. Конечно, это относится к случаям, когда проектируемая БД содержит не слишком малое число таблиц. Скорее всего, можно обойтись без семантического моделирования, если число таблиц не превышает десяти, но оно становится совершенно необходимым, если БД включает более сотни таблиц. Для справедливости заметим, что ручная процедура создания концептуальной схемы с ее последующим преобразованием к реляционной схеме БД в случае больших БД (несколько сотен таблиц) затруднительна. Причины, по всей видимости, не требуют пояснений.

История систем автоматизации проектирования баз данных (CASE-средств) начиналась с автоматизации процесса рисования диаграмм, проверки их формальной корректности, обеспечения средств долговременного хранения диаграмм и другой проектной документации. Конечно, компьютерная поддержка работы с диаграммами очень полезна для проектировщика БД. Наличие электронного архива проектной документации помогает при эксплуатации, администрировании и сопровождении базы данных. Но система, которая ограничивается поддержкой рисования диаграмм, проверкой их корректности и хранением, напоминает текстовый редактор, поддерживающий ввод, редактирование и проверку синтаксической корректности конструкций некоторого языка программирования, но существующий отдельно от компилятора. Кажется естественным желание расширить такой редактор функциями компилятора, и это действительно возможно, поскольку известна техника компиляции конструкций языка программирования в коды целевого компьютера. Но коль скоро имеется четкая методика преобразования концептуальной схемы БД в реляционную схему, то почему бы ни выполнить

программную реализацию соответствующего "компилятора" и не включить ее в состав системы проектирования баз данных?

Эта простая мысль, естественно, не могла не придти в головы производителей CASE-средств проектирования БД. Подавляющее большинство подобных систем, представленных на рынке, обеспечивает автоматизированное преобразование диаграммных концептуальных схем баз данных, представленных в той или иной семантической модели данных, в реляционные схемы, представленные чаще всего на языке SQL. У читателя может возникнуть вопрос, почему в предыдущем предложении говорится про "автоматизированное", а не про "автоматическое" преобразование? Все дело в том, что в типичной схеме SQL-ориентированной БД могут содержаться определения многих объектов (ограничений целостности общего вида, триггеров и хранимых процедур и т.д.), которые невозможно сгенерировать автоматически на основе концептуальной схемы. Поэтому на завершающем этапе проектирования реляционной схемы снова требуется ручная работа проектировщика.

Еще раз обратите внимание на то, какой ход рассуждений привел нас к выводу о возможности автоматизации процесса преобразования концептуальной схемы БД в реляционную. Если создатели семантической модели данных предоставляют методiku преобразования концептуальных схем в реляционные, достаточную для ее применения человеком, то почему бы ни реализовать программу, которая производит те же преобразования, следуя той же методике? Зададимся теперь другим, но, по существу, похожим вопросом. Если создатели семантической модели данных предоставляют язык (например, диаграммный), используя который проектировщики БД могут на основе исходной информации о предметной области сформировать концептуальную схему БД, то почему бы не реализовать программу, которая сама генерирует концептуальную схему БД в соответствующей семантической модели, используя исходную информацию о предметной области? Хотя мне неизвестны коммерческие CASE-средства проектирования БД, поддерживающие такой

подход, экспериментальные системы успешно существовали. Они представляли собой интегрированные системы проектирования с автоматизированным созданием концептуальной схемы на основе интервью с экспертами предметной области и последующим преобразованием концептуальной схемы в реляционную.

Существует много разных подходов к семантическому моделированию баз данных. В последние 10 лет одним из наиболее популярных языков семантического моделирования является UML. Проектирование реляционных БД - только одна и не слишком большая область применения этого языка, его возможности гораздо шире, однако подмножество UML (диаграммы классов) успешно применяется именно для таких целей.

Языковой механизм диаграмм классов по своей сути не отличается от существенно ранее внедренного в практику языкового механизма ER-диаграмм. Тем не менее, проектирование реляционных баз данных в среде UML дает одно существенное преимущество: можно выполнить весь проект создания информационной системы на основе одного общего инструмента.

Языку объектно-ориентированного моделирования UML (Unified Modeling Language) посвящено великое множество книг, многие из которых переведены на русский язык (а некоторые и написаны российскими авторами). UML разработан и развивается

Операции класса определяются в разделе, расположенном ниже раздела с атрибутами. При этом можно ограничиться только указанием имен операций, оставив более детальную спецификацию выполнения операций на поздние этапы моделирования. Для именованной операции рекомендуется использовать глагольные обороты, соответствующие ожидаемому поведению объектов данного класса. Описание операции может также содержать ее сигнатуру, т.е. имена и типы всех параметров, а если операция является функцией, то и тип ее значения. Класс Человек с определенными операциями показан на рисунке 14.

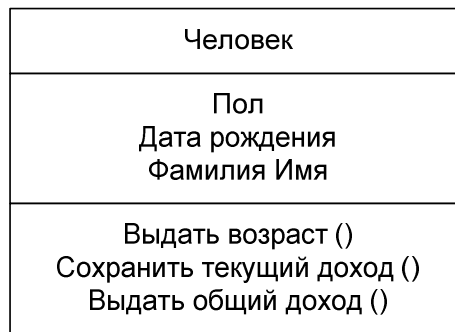


Рисунок 14 – Класс Человек

Для класса Человек мы определили три операции. Операция "выдатьВозраст" использует значение атрибута "датаРождения" и значение текущей даты. Операция "сохранитьТекущийДоход" позволяет зафиксировать в состоянии объекта сумму и дату поступления дохода данного человека. Операция "выдатьОбщийДоход" выдает суммарный доход данного человека за указанное время. Заметим, что состояние объекта меняется при выполнении только второй операции. Результаты первой и третьей операций формируется на основе текущего состояния объекта.

В диаграмме классов могут участвовать связи трех разных категорий: зависимость (dependency), обобщение (generalization) и ассоцирование (association). Для проектирования реляционных БД наиболее важны вторая и третья категории связей. Поэтому по поводу связей-зависимостей мы будем очень кратки.

Зависимостью называют связь по использованию, когда изменение в спецификации одного класса может повлиять на поведение другого, использующего первый класс. Чаще всего зависимости применяются в диаграммах классов, чтобы отразить в сигнатуре операции одного класса тот факт, что параметром этой операции могут быть объекты другого класса. Понятно, что если интерфейс этого второго класса изменяется, то это влияет на поведение объектов первого класса. Простой пример диаграммы классов со связью-зависимостью показан на рисунке 15.



Рисунок 15 - Диаграмма классов

Зависимость показывается прерывистой линией со стрелкой, направленной к классу, от которого имеется зависимость. Легко видеть, что связи-зависимости существенны для объектно-ориентированных систем (в том числе и для ООБД).

Диаграммой классов в терминологии UML называется диаграмма, на которой показан набор классов (и некоторых других сущностей, не имеющих явного отношения к проектированию БД), а также связей между этими классами (иногда термин *relationship* переводится на русский язык не как "связь", а как "отношение"). Кроме того, диаграмма классов может включать комментарии и ограничения. Ограничения могут неформально задаваться на естественном языке или же могут формулироваться на языке OCL (Object Constraints Language), который является частью общей спецификации UML, но, в отличие от других частей языка, имеет не графическую, а линейную нотацию.

Классом называется именованное описание совокупности объектов с общими атрибутами, операциями, связями и семантикой. Графически класс изображается в виде прямоугольника. У каждого класса должно иметься имя (текстовая строка), уникально отличающее его ото всех других классов. При формировании имен классов в UML допускается использование произвольной комбинации букв, цифр и даже знаков препинания. Однако на практике рекомендуется использовать в качестве имен классов короткие и осмысленные прилагательные и существительные, каждое из которых начинается с заглавной буквы. Примеры описания классов показаны на рисунке 16.

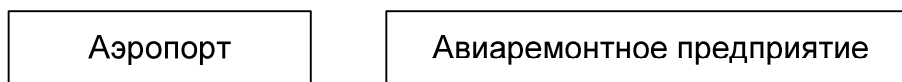


Рисунок 16 – Описание классов

Атрибутом класса называется именованное свойство класса, описывающее множество значений, которые могут принимать экземпляры этого свойства. Класс может иметь любое число атрибутов (в частности, не иметь ни одного атрибута). Свойство, выражаемое атрибутом, является свойством моделируемой сущности, общим для всех объектов данного класса. Так что атрибут является абстракцией состояния объекта. Любой атрибут любого объекта класса должен иметь некоторое значение (рисунок 17).

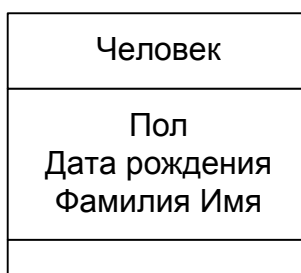


Рисунок 17 – Класс Человек с указанными именами атрибутов

Имена атрибутов представляются в разделе класса, расположенном под именем класса. Хотя UML не накладывает ограничений на способы формирования имен атрибутов (имя атрибута может быть произвольной текстовой строкой), на практике рекомендуется использовать короткие прилагательные и существительные, смысл которых соответствует смыслу соответствующего свойства класса. Первое слово в имени атрибута рекомендуется писать с прописной буквы, а все остальные слова - с заглавной буквы.

Операцией класса называется именованная услуга, которую можно запросить у любого объекта этого класса. Операция - это абстракция того, что можно делать с объектом. Класс может содержать любое число операций (в



частности, не содержать ни одной операции). Набор операций класса является общим для всех объектов данного класса.

Связью-обобщением называется связь между общей сущностью, называемой суперклассом, или родителем, и более специализированной разновидностью этой сущности, называемой подклассом, или потомком. Обобщения иногда называют связями "is a", имея в виду, что класс-потомок является частным случаем класса-предка. Класс-потомок наследует все атрибуты и операции класса-предка, но в нем могут быть определены дополнительные атрибуты и операции.

Объекты класса-потомка могут использоваться везде, где могут использоваться объекты класса-предка. Это свойство называют полиморфизмом по включению, имея в виду, что объекты потомка можно считать включаемыми в класс-предок. Графически обобщения изображаются в виде сплошной линии с большой незакрашенной стрелкой, направленной к суперклассу. На рисунке 18 показан пример иерархии одиночного наследования: у каждого подкласса имеется только один суперкласс.



Рисунок 18 – Иерархия одиночного наследования классов

Одиночное наследование является достаточным в большинстве практических случаев применения связи-обобщения. Однако в UML допускается и множественное наследование, когда один подкласс определяется

на основе нескольких суперклассов (рисунок 19). В качестве одного из разумных примеров рассмотрим следующую диаграмму классов (для упрощения диаграммы не будем указывать имена атрибутов и операций).

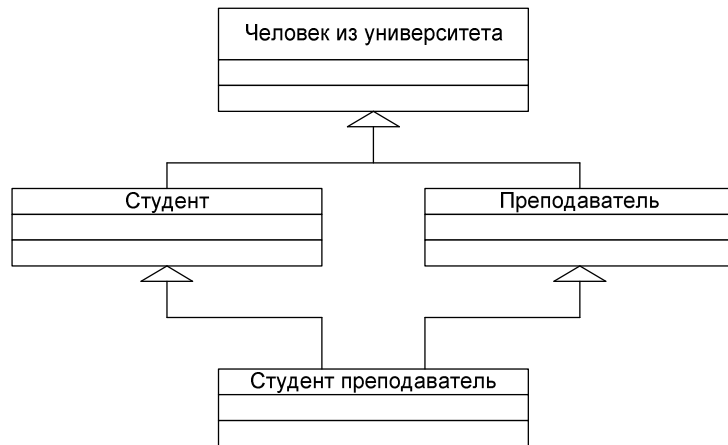


Рисунок 19 – Пример множественного наследования классов

На этой диаграмме классы Студент и Преподаватель порождены из одного суперкласса ЧеловекИзУниверситета. Но как это часто случается, многие студенты уже в студенческие годы начинают преподавать, так что могут существовать такие два объекта классов Студент и Преподаватель, которым соответствует один объект класса ЧеловекИзУниверситета. Итак, среди объектов класса Студент могут быть преподаватели, а некоторые преподаватели могут быть студентами. Мы можем определить класс СтудентПреподаватель путем множественного наследования от суперклассов Студент и Преподаватель. Объект класса СтудентПреподаватель обладает всеми свойствами и операциями классов Студент и Преподаватель, и может быть использован везде, где могут использоваться объекты этих классов. Так что полиморфизм по включению продолжает работать.

Но множественное наследование, помимо того, что не слишком часто требуется на практике, порождает ряд проблем, из которых одной из наиболее известных является проблема именованя атрибутов и операций в подклассе, полученном путем множественного наследования. Например, предположим, что при образовании подклассов Студент и Преподаватель в них обоих был

создан атрибут с именем "номерКомнаты". Очень вероятно, что для объектов класса Студент значениями этого атрибута будут номера комнат в студенческом общежитии, а для объектов класса Преподаватель - номера служебных кабинетов. Как быть с объектами класса СтудентПреподаватель, для которых существенны оба одноименных атрибута? На практике применяется одно из следующих решений:

1. запретить образование подкласса СтудентПреподаватель, пока в одном из суперклассов не будет произведено переименование атрибута "номерКомнаты";

2. наследовать это свойство только от одного из суперклассов, так что, например, значением атрибута "номерКомнаты" у объектов класса СтудентПреподаватель всегда будут номера служебных кабинетов;

3. унаследовать в подклассе оба свойства, но автоматически переименовать оба атрибута, чтобы прояснить их смысл; назвать их, например, "номерКомнатыСтудента" и "номерКомнатыПреподавателя".

Ни одно из решений не является полностью удовлетворительным. Первое решение требует возврата к ранее определенному классу, имена атрибутов и операций которого, возможно, уже используются в приложениях. Второе решение нарушает логику наследования, не давая возможности на уровне подкласса использовать все свойства суперклассов. Наконец, третье решение заставляет использовать длинные имена атрибутов и операций, которые могут стать недопустимо длинными, если процесс множественного наследования будет продолжаться от полученного подкласса.

Но, конечно, сложность проблемы именования атрибутов и операций не идет ни в какое сравнение со сложностью реализации множественного наследования в реляционных БД. Поэтому при использовании UML для проектирования реляционных БД нужно очень осторожно использовать наследование классов и стараться вообще избегать множественного наследования.

Ассоциацией называется структурная связь, показывающая, что объекты одного класса некоторым образом связаны с объектами другого или того же самого класса. Допускается, чтобы оба конца ассоциации относились к одному классу. В ассоциации могут связываться два класса, и тогда она называется бинарной. Допускается создание ассоциаций, связывающих сразу  $n$  классов (они называются  $n$ -арными ассоциациями). Графически ассоциация изображается в виде линии, соединяющей класс сам с собой или с другими классами.

С понятием ассоциации связаны четыре важных дополнительных понятия: имя, роль, кратность и агрегация. Во-первых, ассоциации может быть присвоено имя, характеризующее природу связи. Смысл имени уточняется черным треугольником, располагаемым над линией связи справа или слева от имени ассоциации. Этот треугольник указывает направление, в котором должно читаться имя связи. Пример именованной ассоциации показан на рисунке 20. Треугольник означает, что именованная ассоциация должна читаться, как "Студент учится в Университете".



Рисунок 20 – Пример именованной ассоциации

Другим способом именованной ассоциации является указание роли каждого класса, участвующего в этой ассоциации. Роль класса задается именем, помещаемым под линией ассоциации ближе к данному классу. На следующем рисунке показаны две ассоциации между классами Человек и Университет, в которых эти классы играют разные роли. Как мы видим, объекты класса Человек могут выступать в роли РАБОТНИКОВ при участии в ассоциации, в которой объекты класса Университет играют роль НАНИМАТЕЛЯ. В другой ассоциации объекты класса Человек играют роль СТУДЕНТА, а объекты класса УНИВЕРСИТЕТ - в роли ОБУЧАЮЩЕГО (рисунок 21).

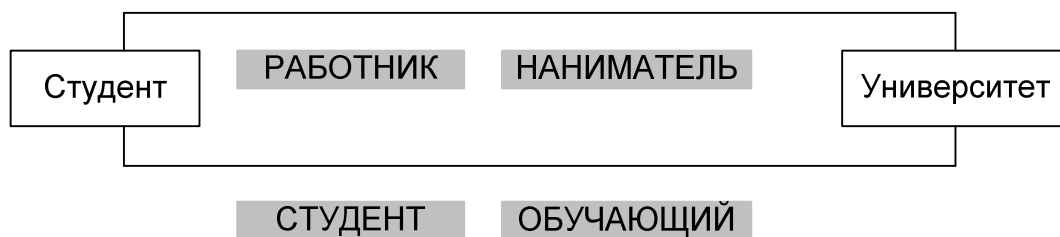


Рисунок 21 – Две ассоциации с разными ролями классов

В общем случае, для ассоциации может задаваться и ее собственное имя, и имена ролей классов. Это связано с тем, что класс может играть одну и ту же роль в разных ассоциациях, так что в общем случае пара имен ролей классов не идентифицирует ассоциацию. С другой стороны, в простых случаях, когда между двумя классами определяется только одна ассоциация, можно вообще не связывать с ней дополнительные имена.

Кратностью (multiplicity) роли ассоциации называется характеристика, указывающая, сколько объектов класса с данной ролью может или должно участвовать в каждом экземпляре ассоциации (в UML экземпляр ассоциации называется соединением - link). Наиболее распространенным способом задания кратности роли ассоциации является указание конкретного числа или диапазона. Например, указание "1" говорит о том, что все объекты класса с данной ролью должны участвовать в некотором экземпляре данной ассоциации, причем в каждом экземпляре ассоциации может участвовать ровно один объект класса с данной ролью. Указание диапазона "0..1" говорит о том, что не все объекты класса с данной ролью обязаны участвовать в каком-либо экземпляре данной ассоциации, но в каждом экземпляре ассоциации может участвовать только один объект. Аналогично, указание диапазона "1..\*" говорит, что все объекты класса с данной ролью должны участвовать в некотором экземпляре данной ассоциации, и в каждом экземпляре ассоциации должен участвовать хотя бы один объект (верхняя граница не задана). Толкование диапазона "0..\*" является очевидным расширением случая "0..1".

В более сложных (но крайне редко встречающихся на практике) случаях определения кратности можно использовать списки диапазонов. Например, список "2, 4..6, 8..\*" говорит, что все объекты класса с указанной ролью должны участвовать в некотором экземпляре данной ассоциации, и в каждом экземпляре ассоциации должны участвовать два, от четырех до шести или более восьми объектов класса с данной ролью (рисунок 22).

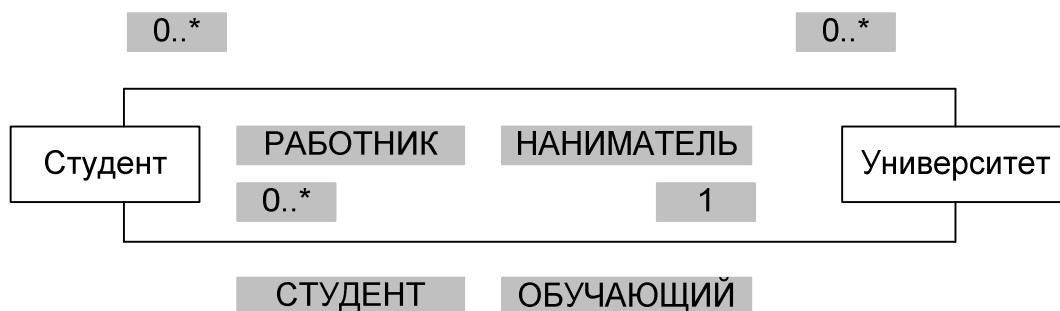


Рисунок 22 – Ассоциация с указанными кратностями ролей

На диаграмме классов с рисунка показано, что произвольное (может быть, нулевое) число людей являются работниками произвольного числа университетов. Каждый университет обучает произвольное (может быть, нулевое) число студентов, но каждый студент может быть студентом только одного университета.

Обычная ассоциация между двумя классами характеризует связь между равноправными сущностями: оба класса находятся на одном концептуальном уровне. Иногда в диаграмме классов требуется отразить тот факт, что ассоциация между двумя классами имеет специальный вид "часть-целое". В этом случае класс "целое" имеет более высокий концептуальный уровень, чем класс "часть". Ассоциация такого рода называется агрегатной. Графически агрегатные ассоциации изображаются в виде простой ассоциации с незакрашенным ромбом на стороне класса-"целого". Простой пример агрегатной ассоциации показан на рисунке 23.

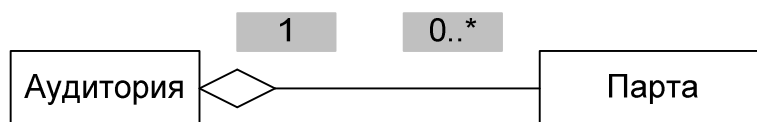


Рисунок 23 – Пример агрегатной ассоциации

Объектами класса Аудитория являются студенческие аудитории, в которых проходят занятия. В каждой аудитории должны быть установлены парты. Поэтому в некотором смысле класс Парта является "частью" класса Аудитория. Мы умышленно сделали роль класса Парта необязательной, поскольку могут существовать аудитории без парт (например, класс для занятий танцами), и некоторые парты могут находиться на складе. Обратите внимание, что хотя аудитории, не оснащенные партами, как правило, непригодны для занятий, объекты классов Аудитория и Парта существуют независимо. Если некоторая аудитория ликвидируется, то находящиеся в ней парты не уничтожаются, а переносятся на склад.

Бывают случаи, когда связь "части" и "целого" настолько сильна, что уничтожение "целого" приводит к уничтожению всех его "частей". Агрегатные ассоциации, обладающие таким свойством, называются композитными, или просто композициями. При наличии композиции объект-часть может быть частью только одного объекта-целого (композиата). При обычной агрегатной ассоциации "часть" может одновременно принадлежать нескольким "целым". Графически композиция изображается в виде простой ассоциации, дополненной закрашенным ромбом со стороны "целого". Пример композитной агрегатной ассоциации показан на рисунке 24.



Рисунок 24 – Пример композитной агрегатной ассоциации

Любой факультет является частью одного университета, и ликвидация университета приводит к ликвидации всех существующих в нем факультетов

(хотя во время существования университета отдельные факультеты могут ликвидироваться и создаваться).

Заметим, что в контексте проектирования реляционных БД агрегатные и в особенности композитные ассоциации влияют только на способ поддержки ссылочной целостности. В частности, композитная связь является явным указанием того, что ссылочная целостность между "целым" и "частями" должна поддерживаться путем каскадного удаления частей при удалении целого. При наличии простой ассоциации между двумя классами предполагается возможность навигации между объектами, входящими в один экземпляр ассоциации. Если известен конкретный объект-студент, то должна обеспечиваться возможность узнать соответствующий объект-университет. Если известен конкретный объект-университет, то должна обеспечиваться возможность узнать все соответствующие объекты-студенты. Другими словами, если не оговорено противное, то навигация по ассоциации может проводиться в обоих направлениях. Однако бывают случаи, в которых желательно ограничить направление навигации для некоторых ассоциаций. В этом случае на линии ассоциации ставится стрелка, указывающая направление навигации. Возможный пример показан на рисунке 25.

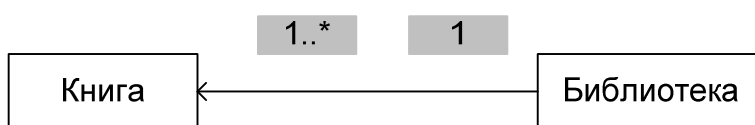


Рисунок 25 – Ассоциация с указанным направлением навигации

В библиотеке должно содержаться некоторое число книг, но каждая книга должна принадлежать некоторой библиотеке. С точки зрения библиотечного хозяйства разумно иметь возможность найти книгу в библиотеке, т.е. произвести навигацию от объекта-библиотеке к связанным с ним объектам-книгам. Однако вряд ли потребуется по данному экземпляру книги узнать, в какой библиотеке она находится.



Как уже отмечалось, в диаграммах классов могут указываться ограничения целостности, которые должны поддерживаться в проектируемой БД. Имеются два способа определения ограничений: на естественном языке и на языке OCL. На рисунке 26 показана простая диаграмма классов Студент и Университет с ограничением, выраженном на естественном языке.

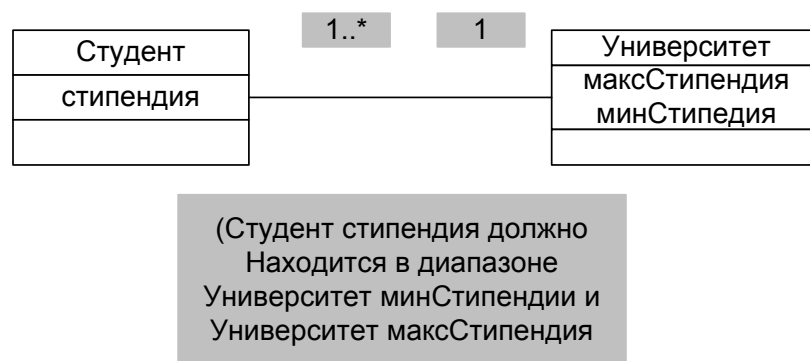


Рисунок 26 – Ограничение, выраженное на естественном языке

В данном случае накладывается ограничение на состояние объектов классов Студент и Университет, входящих в один экземпляр ассоциации. Объект класса Студент может входить в экземпляр связи с объектом класса Университет только при том условии, что размер стипендии данного студента находится в диапазоне, допустимом в данном университете.

Более точный и лаконичный способ формулировки ограничений обеспечивает язык OCL (Object Constraint Language). Приведем его сжатое описание.

К заимствованным из UML концепциям относятся, в первую очередь, следующие:

класс, операция, атрибут;

объект (экземпляр класса);

ассоциация;

тип данных (включая набор predefined типов Boolean, Integer, Real и String);

значение (экземпляр типа данных).

Существенными для понимания языка OCL являются определенные в UML отличия между объектом некоторого класса и значением некоторого типа, обычные для объектных моделей данных.

объект имеет уникальный идентификатор и может сравниваться с другими объектами только по значению идентификатора, следствием чего является возможность определения множественных операций над объектами в терминах их идентификаторов;

объект может быть ассоциирован через бинарную связь с другими объектами, что позволяет определить в OCL операцию перехода от объекта к связанным с ним объектам.

Вообще говоря, переход от диаграммного представления концептуальной схемы базы данных к ее реляционной схеме не зависит от разновидности используемых диаграмм. В частности, методика, разработанная для классических диаграмм «Сущность-Связь» (Entity-Relationship), практически всегда пригодна для диаграмм классов UML.

Выводы: 1. Прежде, чем определять в классах операции, подумайте, что можно сделать с этими определениями в среде целевой РСУБД. Если в этой среде поддерживаются хранимые процедуры, то, возможно, некоторые операции могут быть реализованы именно с помощью такого механизма. Но если в среде РСУБД поддерживается механизм определяемых пользователями функций, он может оказаться более подходящим.

2. Помните, что сравнительно эффективно в РСУБД реализуются только ассоциации видов "один-ко-многим" и "многие-ко-многим". Если в созданной диаграмме классов имеются ассоциации "один-к-одному", то следует задуматься о целесообразности такого проектного решения. Реализация в среде РСУБД ассоциаций с точно заданными кратностями ролей возможна, но требует определения дополнительных триггеров, выполнение которых понизит эффективность.

3. Для технологии реляционных БД агрегатные и в особенности композитные ассоциации являются неестественными.

4. В спецификации UML говорится, что, определяя однонаправленные связи, можно способствовать получению эффективности доступа к некоторым объектам. Для технологии реляционных баз данных поддержка такого объявления вызовет дополнительные накладные расходы и тем самым снизит эффективность.

5. Не злоупотребляйте возможностями OCL. Диаграммы классов UML - это хороший и мощный инструмент для создания концептуальных схем баз данных.

Нельзя сказать, что проектирование баз данных на основе семантических моделей в любом случае убыстряет и/или упрощает процесс проектирования. Все зависит от сложности предметной области, квалификации проектировщика и качества вспомогательных программных средств. Но в любом случае этап диаграммного моделирования обеспечивает следующие преимущества:

на раннем этапе проектирования до привязки к конкретной РСУБД проектировщик может обнаружить и исправить логические огрехи проекта, руководствуясь наглядным графическим представлением концептуальной схемы;

окончательный вид концептуальной схемы, полученной непосредственно перед переходом к формированию реляционной схемы, а может быть, и промежуточные версии концептуальной схемы должны стать частью документации целевой реляционной БД; наличие этой документации очень полезно для сопровождения и в особенности для изменения схемы БД в связи с изменившимися требованиями;

при использовании CASE-средств концептуальное моделирование БД может стать частью всего процесса проектирования целевой информационной системы, что может способствовать правильной структуризации процесса, эффективности и повышению качества проекта в целом.

Язык UML принадлежит объектному миру. Этот мир гораздо сложнее реляционного мира. Поскольку UML может использоваться для унифицированного объектно-ориентированного моделирования всего, что

угодно, в нем содержится масса различных понятий, терминов и вариантов использования, совершенно избыточных с точки зрения проектирования реляционных БД.

Домашнее задание. Построить концептуальную модель базы данных для выбранного объекта управления.

## Работа 10

### РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

Изучение работ по объектно-ориентированному методу анализа и проектированию должна завершиться самостоятельной работой, объединяющей все домашние заголовки в общую расчётно-графическую работу.

Состав расчётно-графической работы: аннотация, введение, диаграмма процесса управления, циклограмма, модель управления, сеть Петри, дерево достижимости, концептуальная модель системы управления на языке UML, заключение и список использованных источников.

В заключении необходимо сделать выводы о дальнейшей работе (дипломной, курсовой). Особо отметить вопросы патентных проработок, а лучше приложить проект заявки на предполагаемое изобретение по результатам анализа и проектирования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шемелин. В.А. Проектирование систем управления в машиностроении. Учебник для ВУЗов. М., 1998 - 254 с.

2. Вендров А.М. CASE – технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. М., Финансы и статистика, 1998.

3. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М., Финансы и статистика, 2000.

В книгах А.М. Вендрова даётся широкий обзор современных технологий проектирования информационных систем. Автор руководствуется собственным практическим опытом, и в его изложении сглаживаются терминологические и концессионные барьеры между разными подходами. Кроме того, изначально эти книги написаны на русском языке, а не переведены с английского, поэтому читаются без затруднений.

4. Фаулер М., Скотт К. UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования. М., Мир, 1999.

Многие мои коллеги считают, что это лучшая книга про UML, переведённая на русский язык. Она написана чётко, без повторов и философских отклонений от темы. Конечно, книга не может улучшить язык, но она помогает понять его в том виде, в каком он существует. Кстати, переведил книгу А.М. Вендров.

5. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. 2-е изд. М., Издательство Бином, СПб., Невский диалект, 1999.

6. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML: руководство пользователя. М., ДМК, 2000.

7. Кудинов А.А., Серов А.Е. Проектирование систем автоматизации. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию с грифом ДВРУМЦ, - Благовещенск: Амурск ГОС.УН-Т, 2002 - 124 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Предисловие                                                                                  | 3  |
| Работа 1. Процесс управления как последовательность операций                                 | 4  |
| Работа 2. Циклограмма                                                                        | 7  |
| Работа 3. Алгоритм лифта                                                                     | 10 |
| Работа 4. Сеть Петри                                                                         | 14 |
| Работа 5. Дерево достижимости                                                                | 20 |
| Работа 6. Основные компоненты языка UML                                                      | 25 |
| Работа 7. Общая структура языка UML                                                          | 31 |
| Работа 8. Специфика описания метамодели языка UML                                            | 47 |
| Работа 9. Концептуальное проектирование реляционных баз данных<br>с использованием языка UML | 59 |
| Работа 10. Расчётно-графическая работа                                                       | 78 |
| Библиографический список                                                                     | 79 |

А.А. Кудинов. Проектирование автоматизированных систем: методические указания к лабораторно-практическим занятиям по объектно-ориентированным методам проектирования. – Благовещенск, издательство АмГУ, 2010, 81с.



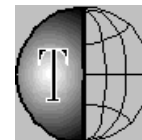
**Министерство образования Российской Федерации**

---

**Пензенский технологический институт (завод-втуз)  
Пензенского государственного университета**

---

СИСТЕМА  
ОТКРЫТОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ



# **ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

Учебное пособие  
по специальности 210200  
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Пенза 2001

УДК 621.396.

**Блинков Ю. В.** Электромеханические системы: Учебное пособие.- Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2001.- 204 с.

В пособии рассмотрены теоретические основы и принципы построения электромеханических систем и устройств, используемых в современных технических комплексах, а также основные особенности структурных и функциональных схем реальных технических комплексов и их отдельных компонент.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Автоматизация и управление» Пензенского технологического института и предназначено для студентов специальности 210200 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Учебное пособие одобрено и рекомендовано Методическим Советом Пензенского технологического института к изданию в ИПК института и для использования в учебном процессе.

Рецензент - Мухатаев Н.А., к.т.н., доцент каф. «Компьютерные технологии в управлении» Пензенского государственного университета.

© Блинков Ю. В., 2001

© Пензенский технологический институт, 2000

## **СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ**

**АЦП** - аналого-цифровой преобразователь;

**ВЭД** - вентильный электродвигатель;

**ВТ** - вращающийся трансформатор;

**ГСП и СА** - Государственная Система Приборов и Средств Автоматизации;

**ИМ** - исполнительный механизм;

**ИУ** - исполнительное устройство;

**ЛШД** - линейные шаговые двигатели;

**МОС** - местная обратная связь;

**ООС** - общая обратная связь;

**РО** - регулирующий орган;

**СУВМ** - специализированная управляющая вычислительная машина;

**УВМ** - управляющая вычислительная машина;

**УО** - управляемый объект;

**ЦАП** - цифро-аналоговый преобразователь;

**ЦВМ** - цифровая вычислительная машина;

**ЦСП** - цифровая система позиционирования;

**ЦАСП** - цифро-аналоговая система позиционирования;

**ЧПУ** - числовое программное управление;

**ШИМ** - широтно-импульсная модуляция;

**ШЭД** - шаговый электродвигатель;

**ЭДПТ** - электродвигатель постоянного тока;

**ЭМТП** - электромехатронный преобразователь;

**ЭМС** - электромеханическая система

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие служит для углубленного теоретического изучения одноименного курса, читаемого студентам специальности 2102 «Автоматизация технологических процессов и производств»

**Изучение дисциплины направлено** на формирование у обучаемых базовых знаний в области электромеханических систем.

**Основные задачи** дисциплины: изучить

- типовой состав электромеханических устройств и систем;
- основные принципы построения автоматизированных электромеханических устройств и систем.

Процесс усвоения материала контролируется с использованием тестов и тренировочных заданий, что способствует закреплению теоретических знаний и развитию практических навыков по изучаемому материалу.

Дисциплина «Электромеханические системы» относится к общетехническим дисциплинам и служит для формирования знаний и умений в области основных методов построения, функционирования и разработки электромеханических устройств и их основных компонент, создания базы для изучения других общетехнических и специальных дисциплин.

После изучения дисциплины студенты: должны знать и уметь использовать:

- принципы построения ЭМС;
- классификацию ЭМС, их модели и основные характеристики;
- методы анализа и синтеза ЭМС;
- структурные и функциональные схемы управляемых электроприводов, силовые и информационные элементы электроприводов;
- характеристики электроприводов;
- средства вычислительной техники и численные методы для решения задач анализа и синтеза ЭМС;

Учебное пособие состоит из трех разделов. Раздел 1 дает общее представление о ЭМС и устройствах как предмете изучения. Приводятся особенности механики исполнительных частей ЭМС на примере робота. Дается обобщенная структура

ЭМС, классификация ЭМС и общий алгоритм их функционирования.

В разделе 2 рассматриваются особенности построения и функционирования отдельных элементов ЭМС - исполнительных двигателей, средств измерения и контроля управляемых параметров объектов, а также средств управления исполнительными двигателями.

В разделе 3 рассматриваются особенности построения и функционирования ЭМС различных классов с исполнительными двигателями различных типов.

# **1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ.**

## **1.1 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА В РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.**

Перемещение в пространстве является существенной частью большинства производственных процессов, а наиболее типичным примером автоматического управления перемещением являются промышленные роботы (ПР) и гибкие производственные системы (ГПС).

В настоящее время относительно простые модели ПР уступили место более сложным 6-степенным манипуляторам с шарнирной кинематической схемой, имеющим две руки или более. Скорости их работы постоянно увеличиваются, в то время как погрешности позиционирования уменьшаются.

Одними из основных устройств, определяющих производительность и точность манипуляторов ПР, являются системы позиционирования, обеспечивающие преобразование электрических сигналов в перемещения. Если преобразование информации осуществляется цифровым устройством, то такое преобразование выполняется цифровой системой позиционирования (ЦСП). По отношению к управляющей ЭВМ ЦСП выполняет функции периферийного устройства, осуществляющего преобразование информации в механическое перемещение.

В основе организации программных ПР лежат элементы иерархии, т.е. способы организации системы, когда она представляется в виде многоуровневого набора взаимодействующих подсистем (уровней иерархии). Источником команд верхнего уровня иерархии является человек-оператор; в качестве нижнего уровня иерархии можно выделить ЦСП, обеспечивающую адекватную обработку управляющих сигналов, которые поступают в нее от вышестоящего уровня. Цифроаналоговая система позиционирования (ЦАСП) является самостоятельной законченной подсистемой, которая гарантирует вышестоящему уровню исполнение генерируемых ею команд. Следующий уровень иерархии служит для вычисления

управляющих сигналов на основе данных, подготовленных ранее, и команд оператора. Реализация такой простейшей двухуровневой структуры (уровень электромехатронного преобразователя (ЭМТП) и уровень вычисления управления или, как его называют, тактический уровень) может быть самой разнообразной.

В зависимости от распределения функций между ЭВМ и ЦСП различают автономный и совмещенный варианты систем построения. В автономном варианте построения ЭВМ не входит в контур позиционирования и служит только источником цифровой информации. Реализуется прямое преобразование с локальными обратными связями в его промежуточных точках. В совмещенном варианте ЭВМ включается в контур позиционирования и не только выполняет функции задающего устройства, но и осуществляет сравнение входной и выходной информации, вырабатывает сигналы коррекции, формирует алгоритмы управления

Независимо от варианта построения ЦСП состоит из двух основных устройств: входного преобразователя информации и ЭМТП электрического сигнала в угловое или линейное перемещение.

Роботы, оснащенные гибко управляемыми ЦСП, могут наиболее полноценно воспроизводить труд рук человека в самых его различных видах. Создание электромеханических роботов в настоящее время экономически оправдано и технически успешно реализуемо во многом благодаря совершенствованию различных датчиков, заметному прогрессу в создании исполнительных электродвигателей и существенному улучшению качества управления ими средствами микропроцессорной техники. Благодаря возможности независимого регулирования углового положения шести звеньев функционирование этой механической руки сходно с движением руки человека. Она способна совершать более сложные движения, например сгибать свой «локоть» назад.

Большинство рассмотренных в пособии вариантов построений ЦСП предусматривает преобразование цифровой информации в угловые перемещения. Это связано с тем, что поступательные перемещения при преобразовании практически во всех случаях могут быть трансформированы в угловые перемещения.

Следует отметить, что подход к преобразованию цифровой информации в поступательные перемещения через угловые не

исключает использования методов прямого преобразования. Особый интерес в этом плане представляют однокоординатные и многокоординатные линейные шаговые двигатели (ЛШД).

Отличительным свойством ЛШД оказалась возможность построения на их основе ЭМТП с совмещением движений по различным координатам. Области применения двухкоординатных ЛШД с плоским рабочим зазором и аэростатическими опорами крайне разнообразны. Замена ими традиционных двухкоординатных систем точного позиционирования революционизировала эту область техники, так как при сохранении прежней точности позиционирования, достигающей 10 мкм в рабочем поле 2\*3 м, быстродействие ЦСП увеличивается на порядок.

Обрабатывающие центры, манипуляционные роботы, автоматизированные производственные и сборочные линии, станки с программным управлением, автоматизированное и роботизированное испытательное оборудование и стенды для натурального и полунатурного моделирования представляют далеко не полный перечень комплексов, где необходимо преобразование информации цифровых ЭВМ в перемещения. Используемые при этом ЦСП характеризуются совмещением функций преобразователя формы информации (ПФИ) с одновременным преобразованием электрической энергии в механическую энергию перемещения рабочего органа. Это свойство является основным и определяет все остальные показатели системы и ЭМТП.

Наличие электромеханического преобразователя энергии в прямом контуре системы уменьшает ее быстродействие по сравнению с быстродействием системы с электронными цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП). Если быстродействие современных интегральных ЦАП определяется микросекундами, то быстродействие ЦСП соответствует миллисекундному диапазону. В связи с тем, что быстродействие ЦСП в значительной степени определяет производительность технологического оборудования, задача оптимизации времени электромеханического преобразования становится все более актуальной.

Немаловажным фактором, определяющим эффективность ЦСП, является погрешность преобразования, практически определяющая точность выполнения технологической операции. В этой части требования к ЦСП превышают аналогичные



требования к электронным ЦАП. Такая особенность в значительной мере определяет построение всего тракта ЦСП, выбор цифровых и аналоговых электронных усилительно-преобразовательных устройств и электромеханических исполнительных и измерительных элементов ЭМТП.

К ЦСП, используемым в ПР, обычно предъявляется комплекс жестких и во многом противоречивых требований: высокое быстродействие в сочетании с плавностью движения; отсутствие перерегулирования; высокая точность преобразования цифровой информации в перемещения; устойчивость в широком диапазоне изменения нагрузки; минимальная масса и габаритные размеры исполнительных и измерительных элементов; повышенная надежность в работе; удобство эксплуатации; высокая технологичность и максимальная унификация узлов и элементов.

Цифроаналоговая система позиционирования должна обеспечивать перемещение рабочего органа ПР из точки в точку за минимальное время с заданным качеством движения. Требования к качеству движения — ограничения по скорости и ускорению, отсутствие перерегулирования, точность позиционирования определяются прежде всего технологическим процессом, но могут быть и следствием ограниченных возможностей ЭМТП или ЦСП в целом.

Общими требованиями, предъявляемыми к ЦСП всех ПР, являются требования к точности, быстродействию и виду переходного процесса. Выполнение этих требований, наряду с затратами на изготовление и эксплуатацию ПР, определяет эффективность их использования.

Наибольшая точность необходима на операциях сборки, где в отдельных случаях допустимая погрешность позиционирования составляет единицы угловых секунд. При выполнении транспортно-ориентирующих операций погрешности ЭМТП должны составлять единицы угловых минут. Транспортные ПР должны обладать повышенным быстродействием.

В большинстве существующих ПР обычно используются упрощенные варианты их построения, допустимые для решения того круга задач, на который специализирован данный робот. Это в первую очередь относится к цикловому управлению, где необходимая точность и плавность движений достигается механическими средствами — упорами и амортизаторами. Более сложные движения, требующие сочетания высокой производительности, точности и плавности, а также малые

перемещения, предполагают использование высококачественной ЦСП с прецизионными преобразователями положения и устройства управления с достаточно широкими логико-вычислительными возможностями.

Реализация более сложных алгоритмов управления в большинстве случаев связана с увеличением стоимости ЦСП и снижением надежности ПР. В связи с этим поиски решений, позволяющих осуществить формирование более совершенных алгоритмов без существенного усложнения ЦСП, являются актуальными.

Рассмотрим ПР как электромеханическое устройство.

### **1.1.1 Структура и конструкция робота.**

Под рабочим местом в промышленности подразумевается *среда*, в которой производятся действия и которая состоит из различных предметов: подвижных или неподвижных, жестких или деформируемых, свободных или связанных между собой. Это приходится учитывать при решении различных задач, каждая из которых состоит из совокупности непрерывных или прерывистых действий, выполняемых для получения требуемого изменения среды.

В широком понимании *робот* может быть определен как техническая система, способная замещать человека или помогать ему в выполнении различных задач. При определении робота приходится прибегать к следующим понятиям:

*рабочая среда;*

*источник энергии*, необходимый для обеспечения функционирования робота;

*источник информации* для описания поставленной человеком-оператором задачи.

Необходимо иметь в виду, что робот выполняет две функции, реализуемые различными устройствами: информационными и исполнительными.

*Информационные устройства* вырабатывают команды в зависимости от результатов обработки поступающей информации трех видов: цели выполняемой задачи, измерений текущего состояния исполнительного устройства и наблюдений над рабочей средой, находящейся в непосредственной близости или на расстоянии от робота.

**Исполнительные устройства** воздействуют на рабочую среду в соответствии с командами путем преобразования и расходования получаемой извне энергии.

- Определим основные виды работ, которые должен выполнять робот:
- Изготовление предметов (в металлообрабатывающей, автомобильной и др. отраслях промышленности).
- Строительные работы (сооружение зданий, путепроводов, судов).
- Добыча и переработка сырья (шахты, карьеры, цементные заводы).
- Сельскохозяйственные и лесные работы.
- Работы, опасные для жизни человека
- Работа в медицинских учреждениях

Затем следует определить основные характеристики предметов, с которыми робот взаимодействует. К ним можно отнести: форму, объем, массу, температуру, габариты, состояние поверхности, внутреннюю структуру, изменимость размеров, ограничение движений, связанное с возможностью повреждения предмета, и т.д.

Возможности робота в значительной степени определяются взаимодействием его рабочего органа с внешней средой. Рабочий орган играет основную роль, так как воздействует на внешние предметы и поэтому определяет основные требования ко всем остальным конструктивным элементам робота.

### 1.1.2 Рабочие органы робота

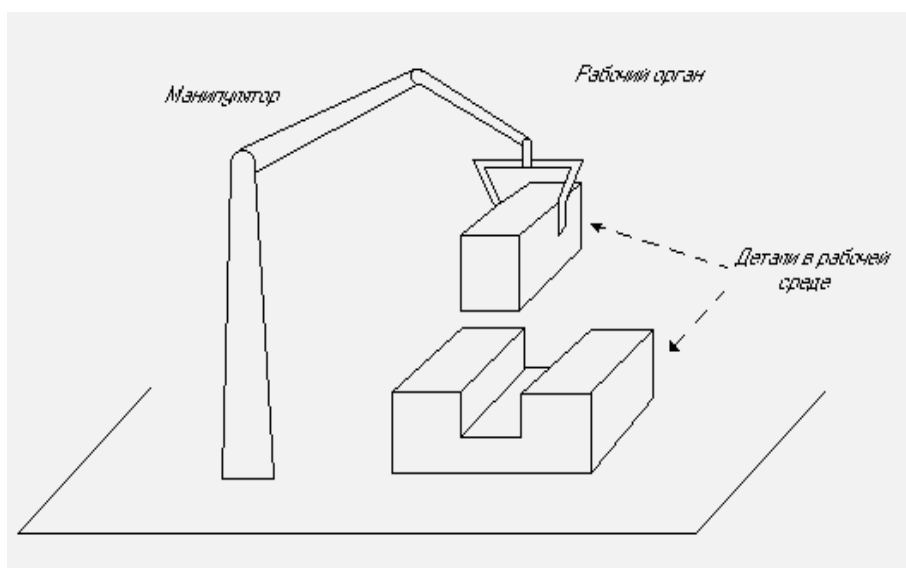


Рис. 1.1

Ими могут быть разнообразные инструменты: клещи, присоски (захваты), сопла, горелки (в дуговой сварке) и т.д. При конструировании рабочего органа все операции тщательно анализируются. Не вдаваясь в подробности, которые рассмотрены в специальной литературе, отметим, что рабочий орган обладает следующими свойствами:

- является сложной системой, которую редко можно представить в виде единого не поддающегося деформации элемента;
- относится к типу приспособлений, состоящих из нескольких приводов;
- часто содержит чувствительные датчики, позволяющие обеспечить его адаптацию к конкретным условиям задачи.

Следует отметить, что наряду с монофункциональными схватами иногда встречаются мультифункциональные (двойные клещи, четырехоперационные головки и т.д.).

### 1.1.3 Звенья

При решении производственных задач рабочий орган используется для выполнения заданных движений. Звенья манипулятора образуют механическую систему с изменяемой геометрией, связанную с корпусом робота и позволяющую при помощи движений ограниченной амплитуды перемещать и ориентировать рабочий орган. Движения звеньев манипулятора производятся относительно неподвижной платформы робота. Робот на подвижной платформе представляет собой свободную механическую систему, способную перемещаться (автотележка, подводный робот и т.д.).

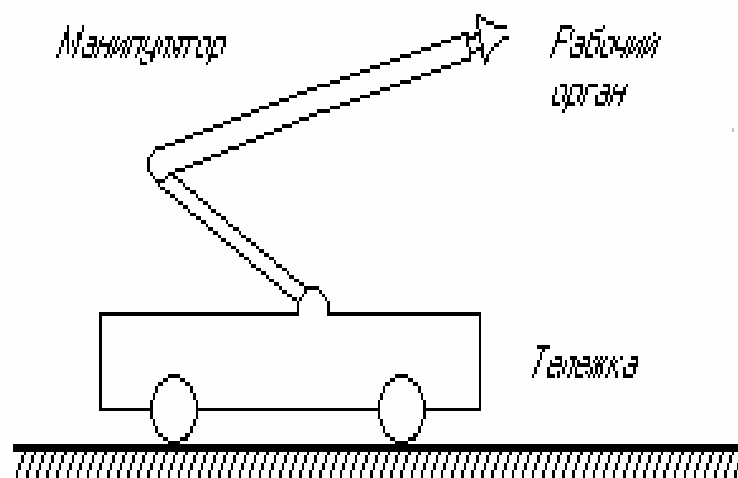


Рис. 1.2

### 1.1.4 Манипуляторы

Манипулятором называется механическая система, состоящая из звеньев и рабочего органа. Например, существуют манипуляторы для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, сварки, шлифовки и т.д. Промышленный робот может состоять из нескольких манипуляторов, расположенных на одной платформе и управляемых с помощью одной вычислительной машины. Если платформа неподвижна, робот не перемещается (рис. 1.1), а если робот установлен на тележке, он становится мобильным (рис. 1.2).

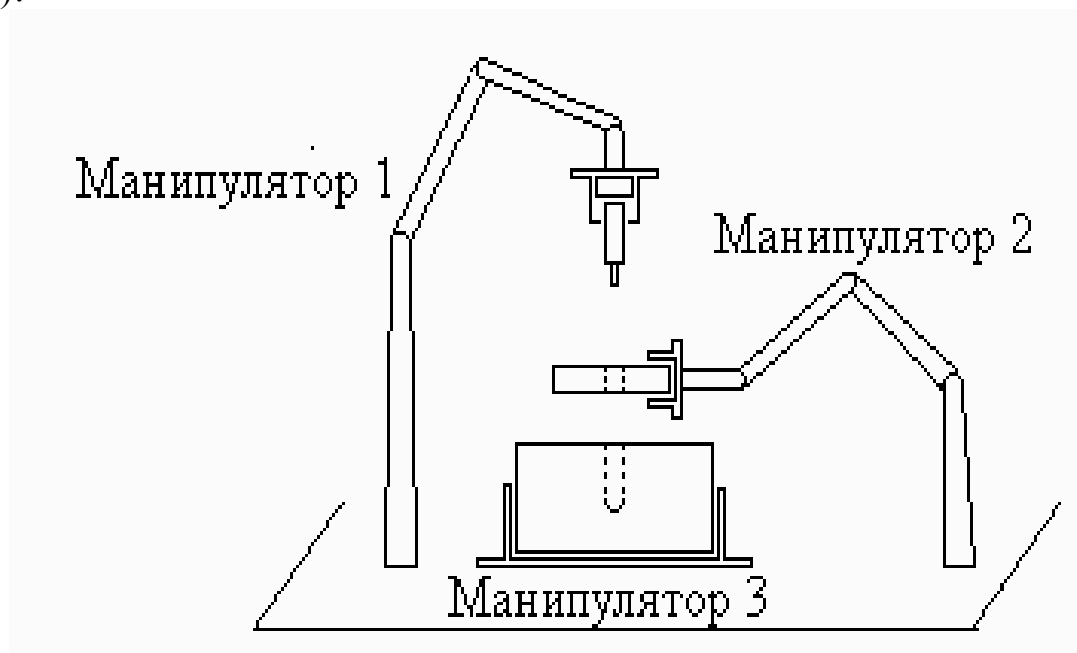


Рис. 1.3

Промышленные роботы бывают с одним манипулятором и с несколькими («многорукий робот») (рис. 1.3).

### 1.1.5 Управление движением.

До сих пор рассматривалась структура звеньев и рабочих органов манипулятора, определяющих внешний вид робота. Теперь перейдем к источникам энергии, обеспечивающим его работу. Помимо энергии, расходуемой на выполнение операций, например сварки, необходимо затрачивать дополнительную энергию на перемещение звеньев. Для приведения в движение звеньев манипулятора требуется обеспечить (рис. 1.4):

- распределение первичной энергии (обычно электрической, пневматической, гидравлической).
- превращение первичной энергии в механическую;
- передачу механической энергии звеньям;

- управление движением (по положению, скорости, усилию, ускорению и т.д.).

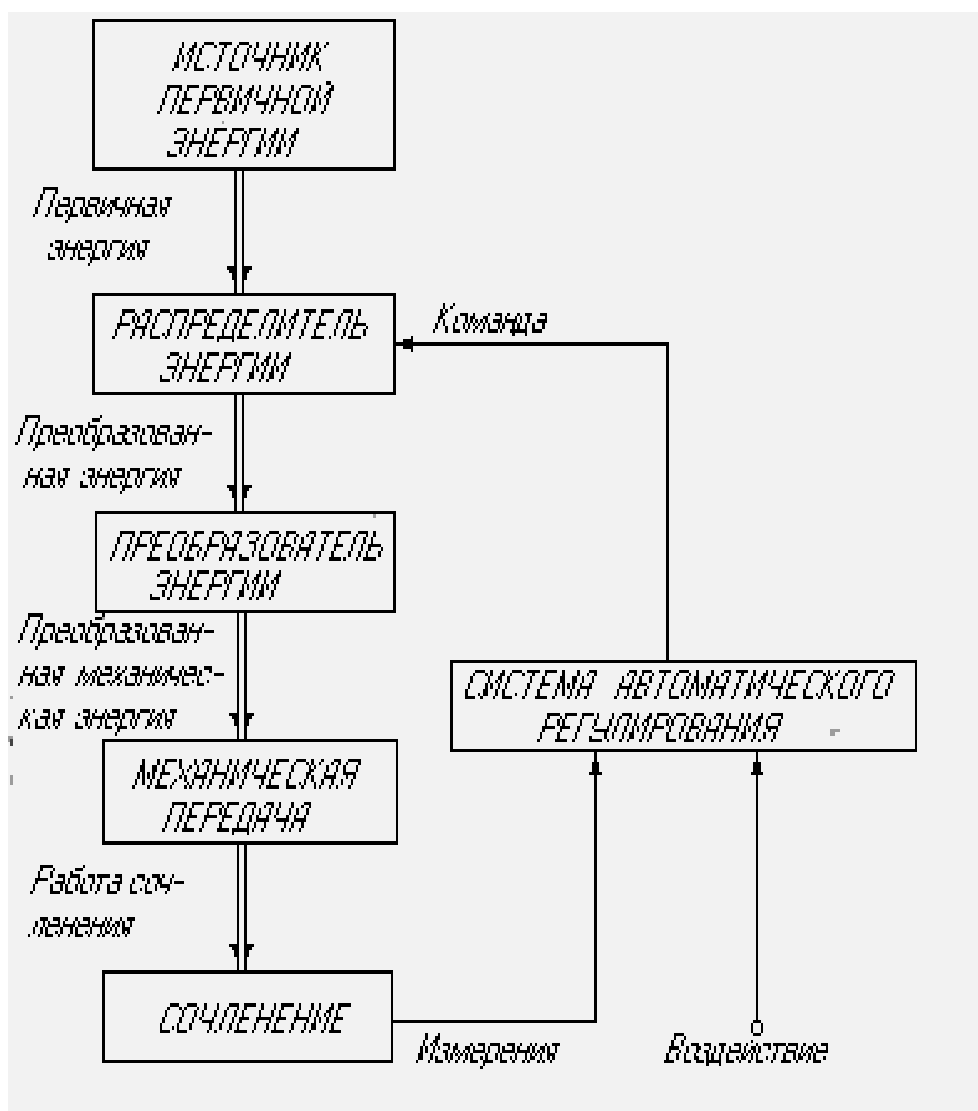


Рис. 1.4

### 1.1.5.1 Непосредственное управление движением

Управление движением проще всего производить с помощью приводов, каждый из которых непосредственно связан с осью соответствующего сочленения. Однако такое решение применяется довольно редко по следующим причинам:

- многие преобразователи механической энергии по своей конструкции сообщают высокие скорости исполнительным органам, но создают малые усилия, что требует применения редукторов;

- механизм привода с редуктором имеет большие габариты, что препятствует выполнению задания (в особенности, если привод размещается вблизи рабочего органа);
- каждый привод имеет массу и моменты инерции, которые увеличивают массу и моменты инерции звеньев и всей системы. Эти дополнительные нагрузки необходимо учитывать при выборе приводов, расположенных на звеньях, так как они существенно увеличивают общую массу.

### **1.1.5.2 Централизованное управление движением**

В отличие от изложенного выше решения можно перенести все преобразующие устройства на платформу робота и передавать движения сочленениям при помощи соответствующих кинематических цепей. Очевидно, что этот способ приводит к утяжелению платформы и звеньев, особенно когда приходится обеспечивать их высокую прочность. Кроме того, приходится учитывать следующее:

- передача движения через многие сочленения усложняется в механической системе с изменяемой геометрией;
- трение в механических передачах приводит к потере энергии и в особенности к снижению точности (вследствие влияния, с одной стороны, перемены усилий, и с другой—люфта, вызванного износом шестерен);
- упругость некоторых элементов может приводить к возникновению ударов и вибраций.

### **1.1.5.3 Смешанное управление движением**

Кроме названных выше двух типов конструкций могут существовать промежуточные варианты, в которых найдены лучшие компромиссные решения для преобразования энергии, учитывающие технические требования на решаемые задачи. Тем не менее часто масса звеньев оказывается больше массы полезной нагрузки в 10 – 100 раз (и даже больше), что требует рационального подхода при конструировании. На решение большое влияние оказывает физическая природа первичной энергии, хотя в ряде случаев этим влиянием можно пренебречь. Не приводя здесь сравнительные оценки, можно указать, что гидравлический привод более выгоден, так как обладает мощностью на единицу массы двигателя в 10 раз большей, чем аналогичный электрический двигатель, что сильно влияет на конструкцию робота.

### 1.1.6 Механика манипуляторов.

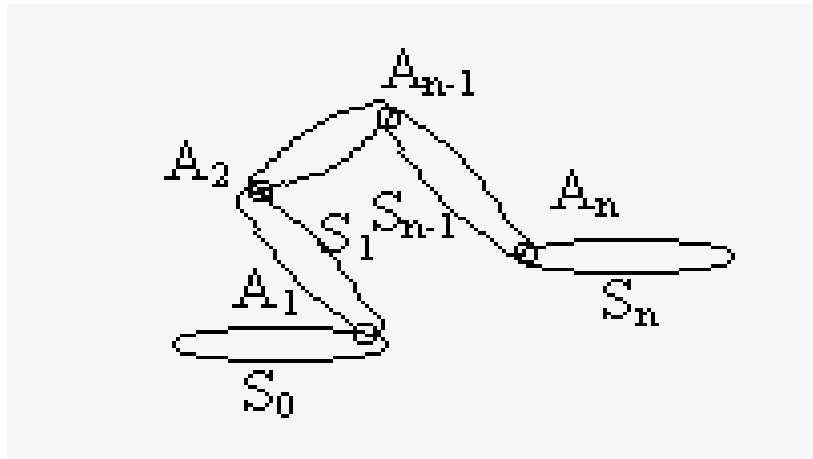


Рис. 1.5.

#### 1.1.6.1 Звенья и сочленения

**Манипулятор** представляет собой многозвенный механизм (рис. 1.5), который состоит из следующих частей:

- **звеньев**  $S_i$  (жестких, твердых тел, способных совершать движения по отношению к основанию манипулятора);
- **сочленений**  $A_i$  (систем двусторонних связей, ограничивающих возможность движения по отношению к смежным звеньям). По крайней мере одно из звеньев сочленено с основанием, которое называется (не совсем удачно) начальным звеном  $S_0$ . Звено, несущее рабочий орган, называется конечным звеном  $S_n$ .

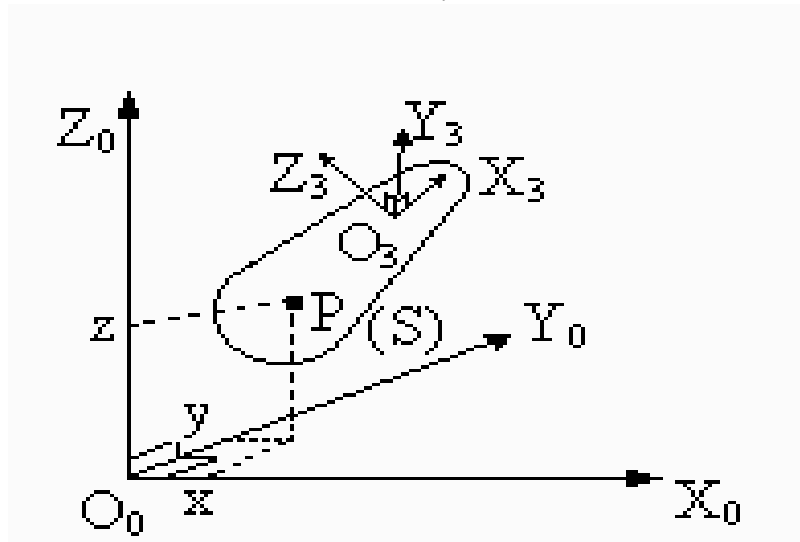


Рис. 1.6

Назначение манипулятора состоит в том, чтобы перемещать рабочий орган; поэтому он должен обладать также способностью



перемещать и ориентировать конечное звено, что необходимо для решения ряда задач.

Введем понятие степени свободы твердого тела  $S$ . Свободное твердое тело обладает шестью степенями свободы, так как его положение в любой момент времени можно задать шестью независимыми параметрами (рис. 1.6), например вектором  $X$  с составляющими  $\theta, \gamma, \rho, x, y, z$ , где  $\theta, \gamma, \rho$ —соответственно углы Эйлера, определяющие ориентацию системы координат  $R_s$ , связанной с телом  $S$  относительно базовой системы координат  $R_0$  (рис. 1.7), а  $x, y, z$ — координаты произвольной точки  $P$  тела  $S$ .

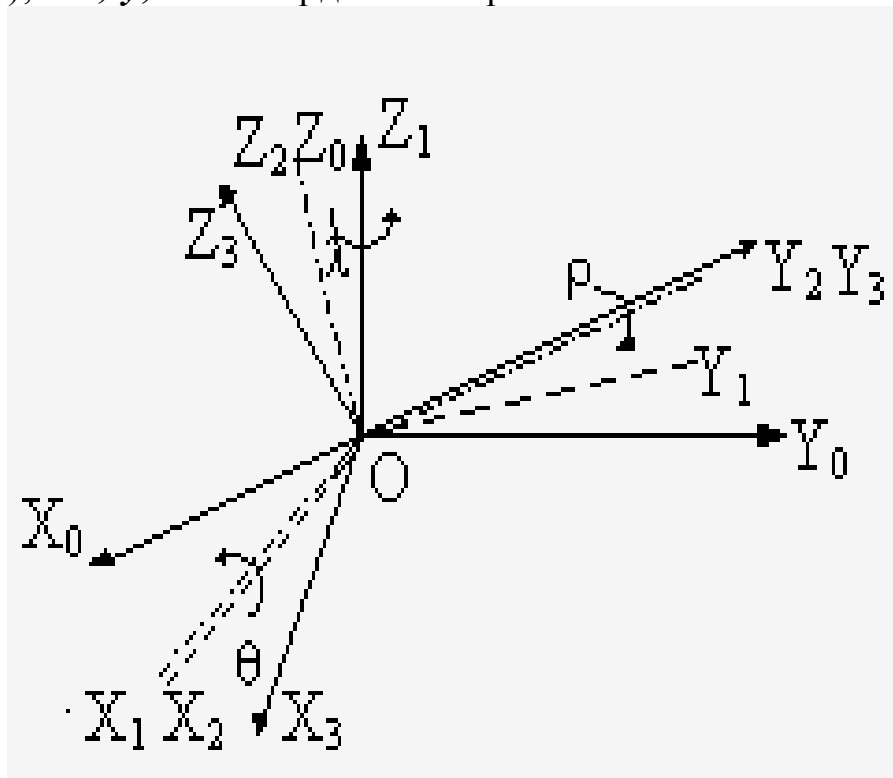


Рис. 1.7

Твердое тело, связанное с другими твердыми телами, имеет определенное число степеней свободы  $d$ , которое может быть меньше или равно 6. Число степеней свободы манипулятора равно по определению числу степеней свободы конечного звена и зависит от числа звеньев, а также от типа и структуры связей между ними.

### 1.1.7 Основные типы сочленений

Сочленение  $r$  последовательно соединяет звенья  $S_i$  и  $S_{i-1}$ , т.е. ограничивает число степеней свободы звена  $S_i$  по отношению к звену  $S_{i-1}$  до величины  $m_i$ , называемой степенью подвижности связи:  $0 < m_i < 6$ .

### 1.1.7.1 Простые сочленения

Простые сочленения ограничивают число степеней свободы сложных звеньев до 1. Различают сочленения «нормальные» и «специальные».

Нормальные сочленения. Существуют два типа нормальных сочленений.

Вращательное сочленение ( $R$ ) представляет собой связь типа шарнирной и допускает лишь вращение  $S_i$ , относительно оси  $\Delta_i$ , общей для  $S_{i-1}$  и  $S_i$ . Движение описывается одним параметром—углом относительного вращения  $r_i$  обычно ограниченным соотношением

$$r_{im} = \langle r_i \rangle < r_{iM}$$

Схематическое представление этого сочленения показано на рис. 1.8 а.

Призматическое сочленение ( $P$ ) представляет собой связь типа ползун и позволяет осуществлять только поступательное движение тела  $S_i$  вдоль оси  $\Delta_i$ , общей для тел  $S_i$  и  $S_{i-1}$ . Это движение описывается также одним параметром—относительным перемещением  $t_i$ , всегда ограниченным соотношением

$$t_{im} < t_i < t_{iM}$$

Схематическое представление этого сочленения показано на рис. 1.8 б.

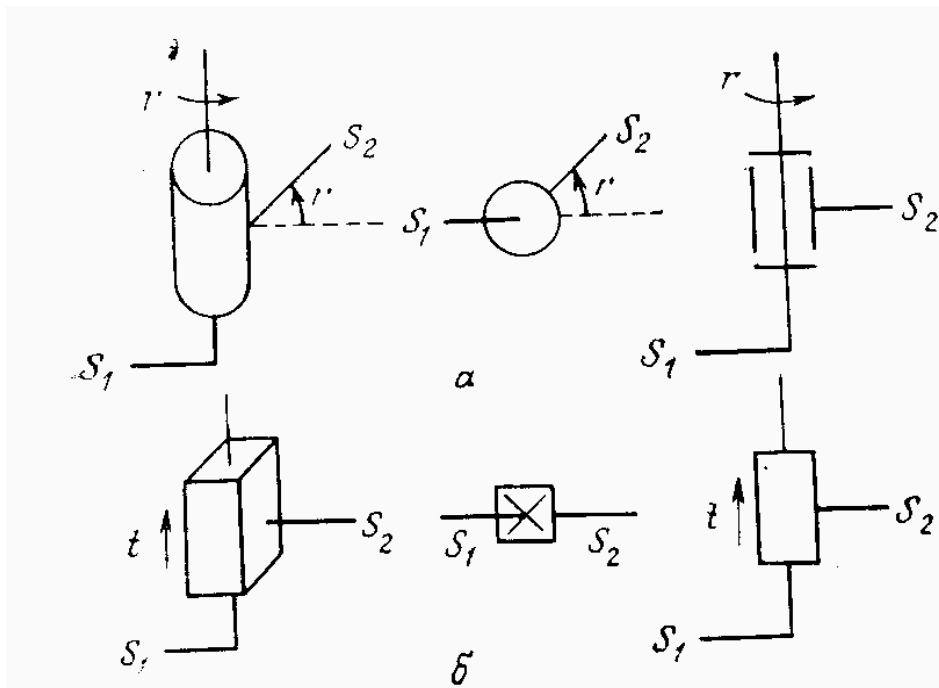


Рис. 1.8.

Специальные сочленения. Подвижность связи, равная 1, обычно означает, что каждая точка тела  $S_i$  может описать лишь

одну траекторию относительно некоторой определенной точки тела  $S_{i-1}$ ; «специальное» же сочленение описывает траекторию, которая не является ни окружностью вокруг оси  $\Delta_i$ , ни прямой, параллельной  $\Delta_i$ . Так, система винт—гайка объединяет в одном движении поступательное и вращательное движения относительно одной оси.

На практике звенья манипулятора обычно связаны между собой лишь нормальными сочленениями (в отличие от систем передачи движения от двигателей).

#### **1.1.7.2 Сложные сочленения**

Существуют механизмы, которые обладают подвижностями типа R или P. К ним относятся связи типа стопора (RP), шагового шарнира (RRR), опоры поверхности на поверхность (PPR) и т.д. В большинстве случаев, в частности когда эти связи являются механическими, они реализуются путем комбинации нормальных сочленений и промежуточных звеньев. Ниже рассматриваются манипуляторы, имеющие лишь нормальные сочленения. Подвижность связей больше 1

#### **1.1.8 Степени свободы манипулятора**

Манипулятор приводится в действие с помощью приводов, преобразующих первичную энергию в механическую и осуществляющих вращательное или поступательное движение, которое используется (прямо или косвенно) для приведения в действие вращательного или призматического сочленения. Различные сочленения не всегда приводятся в действие независимо друг от друга. Поэтому необходимо рассмотреть несколько случаев, в частности манипуляторы с шарнирным механизмом с открытой или с замкнутой цепью.

##### **1.1.8.1 Механизмы с открытой цепью**

В этих механизмах каждое звено  $S_i$  сочленено с предшествующим ему звеном  $S_{i-1}$  и с последующим звеном  $S_{i+1}$ , а конечное звено  $S_n$  связано только с  $S_{n-1}$ . При этом п сочленений структурно независимы и могут приводиться в движение одновременно. Положение манипулятора определяется совокупностью параметров сочленений (кинематических пар)  $g_i$  и  $t_k$ .

Переменные кинематических пар. При использовании п различных и отдельно управляемых приводов изменение

положения конечного звена во времени может быть описано независимыми переменными, образованными из параметров сочленений. Обозначим через  $A$  вектор переменных кинематических пар. Тогда манипулятор с открытой цепью из шести сочленений, показанный на рис. 1.9, описывается вектором  $A = (r_1, r_2, r_3, t_4, t_5, t_6)^T$ .

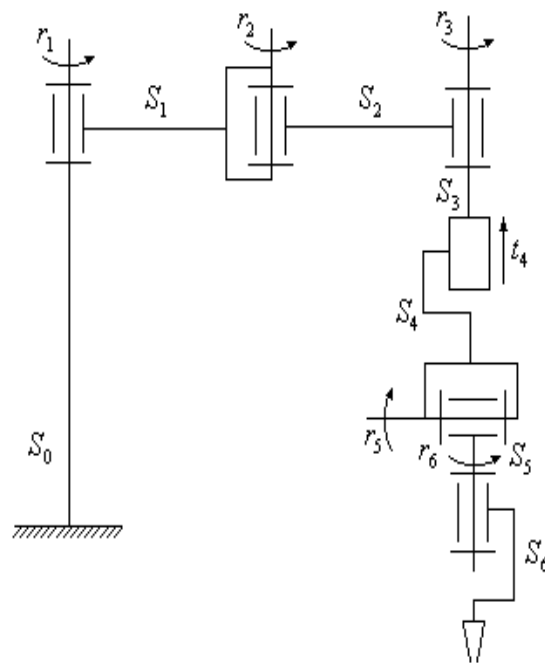


Рис. 1.9

Если же, наоборот, один и тот же привод управляет движением нескольких сочленений, их параметры не являются независимыми переменными (рис. 1.10). То же самое справедливо, когда различные двигатели управляются одним сигналом (рис. 1.11) переменной кинематической пары  $\alpha = r_1 = -r_2$ .

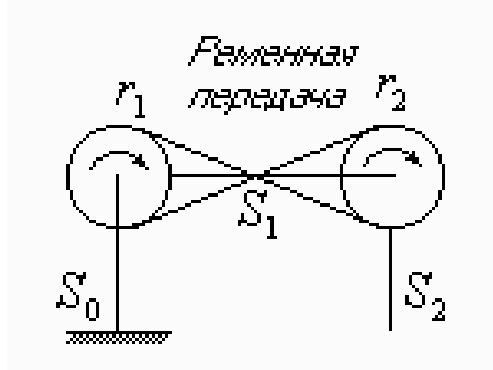


Рис. 1.10

При выводе кинематических уравнений манипулятора для соответствующих сочленений следует «запоминать» лишь ту «переменную», относительно которой выражаются различные связанные между собой параметры кинематических пар.

### 1.1.8.2 Степени свободы.

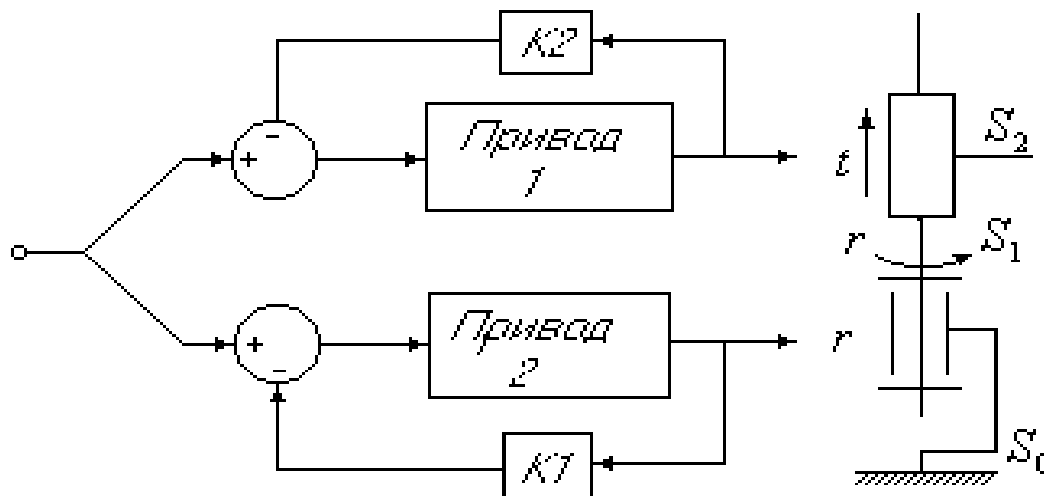


Рис. 1.11

Выше уже говорилось, что число подвижных соединений манипулятора не всегда совпадает с числом независимых переменных кинематических пар  $n$ . Аналогично размерность  $n$  вектора  $A$  не всегда равна числу степеней свободы  $d$  конечного звена  $S_n$ . Это происходит по следующим причинам:

- каково бы ни было число  $n$ , число  $d$  обязательно меньше или равно 6;
- выполнения условия  $n \geq 6$  недостаточно для получения равенства  $d=6$ ; таким образом, манипулятор, приводимый в движение исключительно поворотом вокруг вертикальных осей, обладает не более чем тремя степенями свободы, так как допускает перемещения лишь в горизонтальной плоскости (рис. 1.12).

Обозначим через  $X=f(A)$  преобразование, переводящее  $R^n$  в  $R^6$ , т.е. определяющее положение конечного звена в зависимости от переменных кинематических пар. По определению число степеней свободы манипулятора равно размерности подпространства  $V$  пространства  $R^6$ , порожденного свободным движением сочленений:

$$V=f(R^n).$$

Эта размерность определяется локальными соотношениями. Вблизи произвольного положения  $A^*$  конечного звена связь между малыми вариациями  $A$  и  $X$  имеет вид

$$dX=F_A(A^*)dA,$$

где  $F_A(A^*)$  определяется как:

$$F_{ij}(A)=\frac{\partial f_i}{\partial a_j}(a_1, a_2, \dots, a_n).$$

Если обозначить столбцы  $F_A(A^*)$  как  $X_1(A^*)$ ,  $X_2(A^*)$ , ...,  $X_n(A^*)$ , то предыдущее выражение можно записать в виде

$$dX = \sum_{j=1}^n da_j X_j(A^*),$$

где векторы  $X_j$  размерностью 6 образуют матрицу  $F$ .

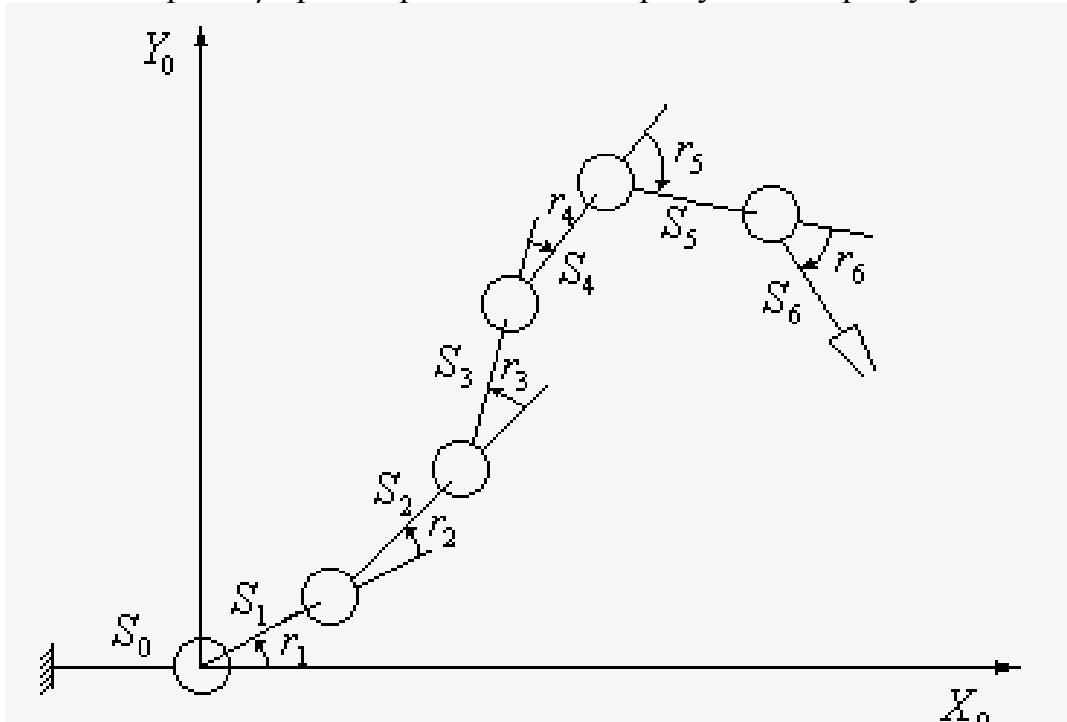


Рис. 1.12

Пусть  $p$  равно рангу  $F_A(A^*)$ , т.е. максимальной размерности его ненулевых детерминантов. При этом могут возникнуть следующие случаи:

- $p=6$ . Тогда можно найти 6 линейно-независимых векторов  $X_j$  и  $F$ -матрица составляет семейство, образующих  $R^6$ . Для любых малых скалярных величин  $da_j$  линейная комбинация

$$dX = \sum_{j=1}^6 da_j X_j(A^*)$$

образует пространство размерностью 6.

- $p < 6$ . В этом случае существует только  $p$  независимых векторов  $X_j$  и  $F$ -матрица образует подпространство размерностью  $p$ , что в свою очередь соответствует двум различным случаям:

- 1) при  $6 \leq n$  максимальный ранг  $F_A$  равен 6 и условие  $p < 6 \leq n$  соответствует вырождению общего случая;

- 2) при  $n < 6$  максимальный ранг  $F_A$  равен  $n$  и условие  $p \leq n < 6$  представляет общий случай.

Итак, используя  $f$ , мы ставим в соответствие каждому положению  $A^*$  возможность локального движения с  $p$  степенями свободы.

Пусть  $p_{\text{МАКС}}$ —максимальное значение  $p$  при  $A^* \in R^n$ , тогда  $p_{\text{МАКС}}$  определяет во всех случаях размерность  $V$  и меру возможных движений, т.е. число степеней свободы манипулятора

$$d = P_{\text{макс}} .$$

Назовем уровнем избыточности  $r$  разность между числом переменных кинематических пар и числом степеней свободы

$$r = n - d.$$

Положения  $A$ , соответствующие рангу, меньшему  $d$ , являются особыми, т.к. возможности локального движения здесь наиболее ограничены, а уровень избыточности наиболее высок.

В действительности же переменные кинематических пар ограничены условиями

$$a_{im} \leq a_i \leq a_{iM} , \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

На них могут быть наложены дополнительные ограничения с целью, например, предупреждения возникновения столкновений:

$$h(A) \leq 0.$$

Совокупность этих ограничений сужает область определения  $f$  до области  $D$  размерностью  $n$ .

Совокупность положений, которые может принимать конечное звено, составляет, таким образом, область  $E$  размерностью  $d$ , которая обычно является лишь частью области  $D$ , т. е.

$$A \in D \subset R^n , \quad X = f(A \in E = f(D) \subset V = f(R^n).$$

### 1.1.8.3 Механизмы с замкнутой цепью

Когда совокупность звеньев манипулятора образует замкнутую цепь, включенные в нее сочленения оказываются структурно зависимыми. В качестве примера рассмотрим три плоских механизма, показанных схематически на рис. 1.13. Первый механизм (рис. 1.13,а) состоит из трех шарниров, но образует недеформируемый треугольник, который нельзя описать с помощью переменных кинематических пар. Второй механизм (рис. 1.13,б) содержит четыре шарнира, но лишь одной из переменных можно произвольно задавать различные значения. Аналогичная ситуация для третьего механизма (рис. 1.13,в), включающего три шарнира и одно призматическое сочленение. Последние два механизма могут применяться для специальной связи между соседними сочленяемыми звеньями с подвижностью, равной 1.

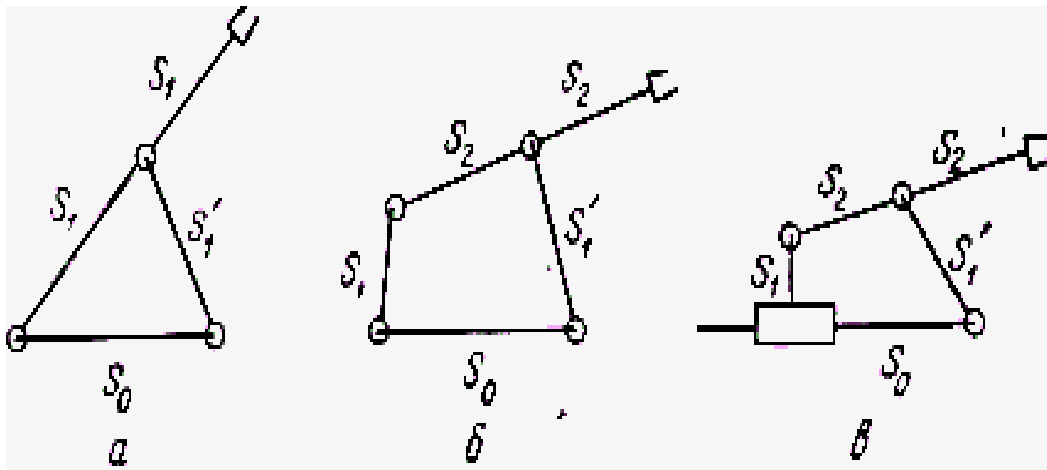


Рис. 1.13.

### 1.1.9 Методы описания кинематики манипуляторов.

#### 1.1.9.1 Моделирование.

Желательно представить кинематическую модель механизма в виде нескольких уравнений, объединяющих параметры движения, соответствующие связям, переменные кинематических пар и конструкционные параметры твердых тел. Кроме того, необходимо составить все уравнения, описывающие особенности кинематики механизма.

Представление в виде графа.

Любой механизм можно представить в виде неориентированного графа, т.е. в виде совокупности вершин  $S$  и множества дуг  $L$ . При этом каждому твердому телу сопоставляется вершина графа, а каждой связи - дуга.

На рис. 1.14,б приведен граф механизма винт - гайка (рис. 1.14,а), предназначенного для управления ползуном. Цепь графа определяется как последовательность смежных дуг. Граф называют связанным, если для любой пары вершин существует цепь, в начале которой находится одна вершина, а в конце - другая. На кинематической схеме рис. 1.14,а соединения:  $L_1$ —винтовое;  $L_2$ —шарнирное;  $L_3$ —призматическое;  $L_4$ —стопор.

Циклом графа называется цепь, которая состоит из различных дуг и начало и конец которой совпадают. Понятие цикла графа соответствует понятию «замкнутой цепи» твердых тел в механизме.



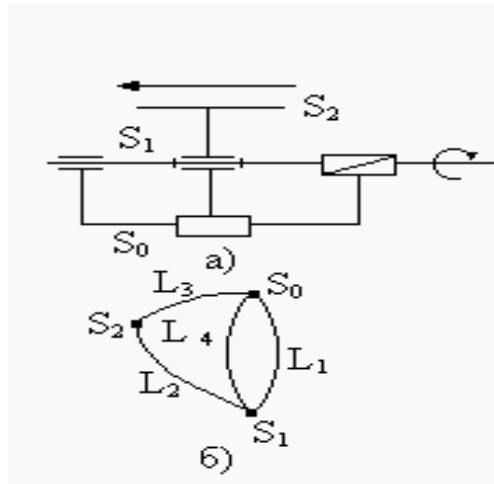


Рис. 1.14

Циклическое число  $\nu$  графа, имеющего  $m$  дуг,  $s$  вершин и  $c$  смежных дуг, определяется следующим образом:

$$\nu = m - s + c.$$

Оно соответствует размерности цикла графа. Например, в случае механизма винт-гайка  $m = 4$ ,  $s = 3$  и  $c = 1$ ; отсюда

$$\nu = 2.$$

Условия замыкания цепи твердых тел.

Чтобы описать функционирование механизма с кинематической точки зрения, необходимо записать в явном виде для замкнутой цепи твердых тел (соответствующей циклу графа) условие «сборки» механизма, получившегося в результате замыкания. Это условие может быть выражено в двух формах: в виде требований к диаграммам распределения скоростей в связях либо в виде геометрического условия «сборки» (реального или виртуального).

При моделировании механизма с одной замкнутой цепью ( $\nu=1$ ) с помощью кинематического описания принимается, что в замкнутой цепи твердых тел  $(S_1, S_2, S_3, \dots, S_p, S_1)$ , соответствующей одному циклу графа, условие существования связи  $(S_1, S_p)$ , совместимой с виртуальным требованием «сборки», определяется из условия идентичности диаграммы распределения скоростей в связи  $(S_1, S_p)$  диаграмме, характеризующей положение  $S_1$  относительно  $S_p$ . Это вытекает из свойств исходной разомкнутой цепи  $(S_1, S_2, \dots, S_p)$ .

Если обозначить через  $\{v(S_i, S_j)\}$  диаграмму распределения скоростей в связях  $(S_i, S_j)$  с центром соединения  $M$ , требуется проверить соотношение

$$\{v(S_1, S_p)\} = \{v(S_1, S_2)\} + \{v(S_2, S_3)\} + \dots + \{v(S_{p-1}, S_p)\}.$$

В общем случае кинематическое условие замыкания простой цепи  $(S_1, \dots, S_p, S_1)$  записывается в виде

$$\{v(S_1, S_2)\} + \{v(S_2, S_3)\} + \dots + \{v(S_p, S_1)\} = \{0\}.$$

При моделировании механизма с несколькими замкнутыми цепями с помощью кинематического описания достаточно записать предыдущие условия в каждой «базовой» замкнутой цепи (соответствующей базовому циклу на графе). Таким образом мы получаем уравнения (необходимые и достаточные) для описания кинематической модели механизма (не более  $6v$  уравнений).

При моделировании механизма с одной замкнутой цепью ( $v=1$ ) с помощью геометрического описания в цепи твердых тел  $(S_1, S_2, \dots, S_p, S_1)$ , соответствующих циклу на графе, условие виртуальной сборки может быть представлено в двух эквивалентных формах:

- в виде требования «перестройки» любого из твердых тел за счет его фиктивного разрезания;

- в виде требования «сборки» связей между функциональными поверхностями твердых тел  $(S_i, S_p)$ . Условие замкнутости определяется исключительно второй эквивалентной формой. Таким образом, необходимо найти изменение положения точки отсчета в разомкнутой цепи до сборки к началу отсчета, определяемому видом этой связи (переход от системы координат, расположенной на функциональной поверхности, которая связана с  $S_i$ , к системе координат, связанной с  $S_p$ ). Например, в случае шарнирной связи  $(S_i, S_j)$  с центром в точке  $A_{ij}$  и осью  $u$  данное условие записывается в виде

$$(A_{ij})_i(A_{ij})_j = 0, \quad (u)_i \wedge (u)_j = 0.$$

При моделировании механизма с несколькими замкнутыми цепями ( $v>1$ ) с помощью геометрического описания нетрудно показать, что достаточно записать предыдущие условия для каждой «базовой» замкнутой цепи. Полученные зависимости образуют полное и избыточное описание механизма.

Следует отметить, что кинематическое описание представляется наиболее простым для применения, однако, хотя полученные системы эквивалентны, по-видимому, проще решать уравнения, полученные при моделировании с помощью геометрического описания.

**Метод выбора базовых циклов.** Выбор базового цикла может оказаться трудным для сложных механизмов, встречающихся в роботах.

Рассмотрим следующий простейший метод (без доказательств) :

а) вычисление циклического числа;

б) произвольный выбор цикла графа, который станет первым элементом базы; выбор произвольного цикла, который содержит по крайней мере одну дугу (связь), еще не использованную в базе; процесс продолжается до того момента, как будут использованы все дуги графа;

в) если число полученных таким образом циклов равно  $\nu$ , база графа найдена; если полученное число циклов меньше  $\nu$ , необходимо вернуться к исходной точке базы и выбрать другие циклы (рис. 1.15).

Базовые циклы на рис. 1.15:  $(S_0, S_7, S_6, S_5, S_0)$ ,  $(S_0, S_7, S_2, S_1, S_0)$ ,  $(S_1, S_8, S_3, S_2, S_1)$ ,  $(S_2, S_9, S_4, S_3, S_2)$ .

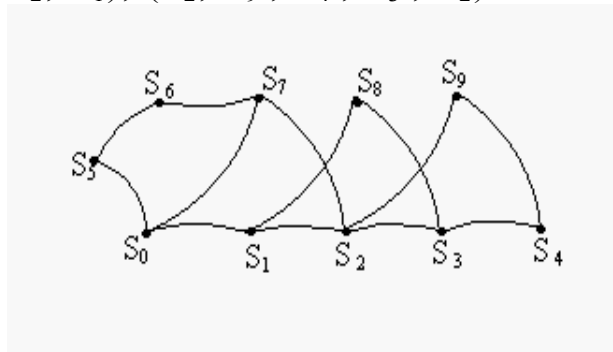


Рис. 1.15

### 1.1.9.2 Кинематическая достоверность модели механизма

Целью проведенного выше исследования является возможность получения эффективного средства кинематического анализа структуры робота. Действительно, проектируемая механическая структура может содержать твердые тела, перемещение которых не всегда контролируемо. Мы будем различать три случая представления на уровне интерпретации кинематической модели со следующими исходными данными:  $n$  – число известных переменных кинематических пар  $a_i$ ,  $q$  – число неизвестных параметров связи  $b_j$ , и система уравнений, линеаризованных в окрестности изучаемого положения, в виде  $MB=NA$ . Обозначим через  $m$  ранг матрицы  $M$ . Тогда возможны три случая:

а) Если  $m=q$ , механизм кинематически определен, и после решения системы уравнений можно найти все положения, которые принимает исполнительный орган робота.

б) Если  $m \neq q$ , механизм кинематически не определен (вектор  $B$  не определен). В общем случае это означает, что применение такого механизма нецелесообразно.

в) Если  $m < q$ , применение механизма возможно, когда закон движения «вход выход» однозначно определен: функция  $X=f(A)$  определена однозначным образом, несмотря на задание произвольных значений  $(q-m)$  параметрам связи  $b_j$ .

Механизм, ассоциированный с роботом, обладает неконтролируемыми внутренними степенями подвижности, которые называются «пассивными», т.к. обычно они не мешают нормальному функционированию системы.

### 1.1.10 Общепринятые структуры

#### 1.1.10.1 Взаимосвязь между степенями свободы

Пусть  $\alpha$  и  $x$  – два вектора размерностью  $n_1$ , а  $\beta$  и  $y$  – два вектора размерностью  $n_2$ . Система уравнений

$$\mathbf{g}(x, \mathbf{0}) = \alpha, \quad \mathbf{h}(\mathbf{0}, y) = \beta \quad (1.1)$$

называется диагонально-блочной, или состоящей из двух частей. Эта система имеет следующие решения:

$$x^* = \mathbf{g}^{-1}(\alpha), \quad y^* = \mathbf{h}^{-1}(\beta).$$

Рассмотрим теперь систему взаимосвязанных уравнений, которую можно записать в виде

$$\mathbf{g}(x, \mathbf{0}) = \alpha, \quad \mathbf{h}(x, y) = \beta. \quad (1.2)$$

Благодаря одностороннему характеру взаимных связей решение блочно-треугольной системы (1.2) не сложнее решения уравнений (1.1). Сначала получаем  $x^* = \mathbf{g}^{-1}(\alpha)$ , а потом, подставив его во второе уравнение, получаем  $y^*$ , решив при этом уравнение с одной неизвестной:

$$\mathbf{h}(x^*, y) = \beta.$$

Отсюда следует, что структура робота не всегда соответствует соотношению  $X=f(A)$  (диагональному или блочно-диагональному). Она должна быть представлена треугольной или блочно-треугольной системой, которая упрощает получение вектора  $A$ , определяющего заданное положение  $X^d$  конечного звена.

#### 1.1.10.2 Призматические сочленения

Вектор кинематических пар может быть представлен в виде двух составляющих:

$$A = (r, t)T,$$

где  $r$ —совокупность переменных вращения,  $t$ —совокупность переменных перемещения. Вектор, представляющий положение конечного звена, можно разложить на две составляющие:

$$\mathbf{X}=(X_{or} , X_{po})\mathbf{T},$$

где три первые компоненты определяют ориентацию  $X_{or}$  конечного звена, а три последующие — положение  $X_{po}$  его заданной точки.

При кинематическом моделировании получаем следующие соотношения:

$$\mathbf{X}_{or} =\mathbf{g}(\mathbf{r} , \mathbf{o}) , \quad \mathbf{X}_{po}=\mathbf{h}(\mathbf{r} , \mathbf{t}). \quad (1.3)$$

Для простоты рассмотрим робот с шестью независимыми переменными кинематических пар и с шестью степенями свободы.

Система уравнений (1.3) имеет вид, который облегчает ее решение (по сравнению со случаем, когда нет поступательного движения). Лишь в случае, когда имеется три призматических сочленения, система (1.3) будет блочно-треугольной размерности  $3 \times 3$ ; тогда  $r^*$  полностью определяется заданной величиной  $X_{or}$ , а  $t^*$  находится из заданной величины  $X_{po}$ .

### 1.1.10.3 Кисть с пересекающимися осями

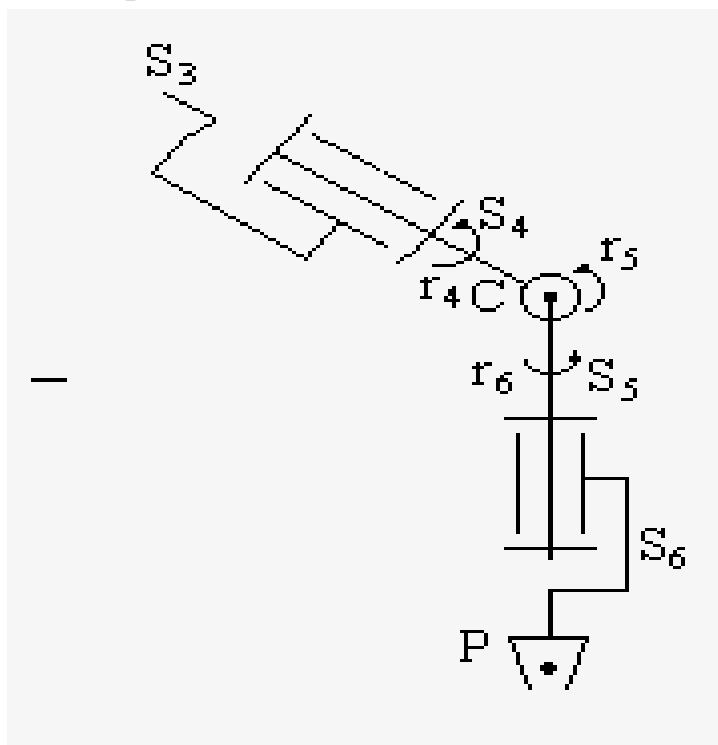


Рис.1.16

Во многих практических задачах целесообразно связывать четыре последних звена с помощью вращательных сочленений с осями, пересекающимися в одной точке  $C$  (рис.1.16).

Это устройство представляет собой механизм ориентирования рабочего органа, часто называемый «кистью», если три последних звена имеют малую длину. Данный механизм работает как пространственный шарнир с центром  $C$  (сложное сочленение с тремя степенями подвижности).

Когда рабочий орган изменяет направление перемещения путем трех вращений механизма, положение точки  $C$  не изменяется. Положение точки  $C$  зависит только от той части манипулятора, которая расположена сверху. Оснащенный длинными звеньями такой манипулятор часто называется кистью и представляет собой механизм, служащий прежде всего для перемещения рабочего органа.

Для описания положения звена  $S_6$  можно взять  $X_{or}$  и  $X_{po}(C)$  вместо  $X_{og}$  и  $X_{po}(P)$ ; параметры первой пары эквивалентны параметрам другой пары, поскольку точка  $C$  принадлежит конечному звену:

$$X_{po}(C) = X_{po}(P) - k(X_{or}).$$

В этом случае система уравнений при обозначении трех последних переменных кинематических пар через  $r_1$  и  $a_2 = (r_2, t)^T$  остальных переменных принимает вид

$$X_{or} = g(r_1, r_2, o), \quad X_{po} = k(o, r_2, t). \quad (1.4)$$

Это система блочно-треугольного вида размерностью  $3 \times 3$ . Второе уравнение системы (1.4) позволяет вычислить  $r_2^*$  и  $t^*$ , исходя из  $X_{po}(C)$ , а первое уравнение  $r_1^*$ , исходя из  $X_{or}$  и  $r_2^*$ .

*Примечание 1.* Если механизм перемещения состоит из трех призматических сочленений, то  $a_2 = t$ ,  $r_2$  отсутствует и система уравнений (1.4) становится блочно-диагональной. Кроме того, когда оси поступательного движения совпадают с осями неподвижной системы координат  $R_0$  обеспечивается полная развязка между перемещением и ориентированием, но не всегда используется на практике по той причине, что изготовление вращательных сочленений осуществляется гораздо проще.

*Примечание 2.* Управление выполняется наиболее просто, когда точка  $C$  совпадает с центром тяжести предмета, переносимого рабочим органом. Тогда можно изменить ориентацию предмета, не изменяя положения точки  $C$ , а следовательно, не прибегая к переменным  $r_2$  и  $t$ . Эта

конфигурация позволяет также получать высокую точность при малых перемещениях.

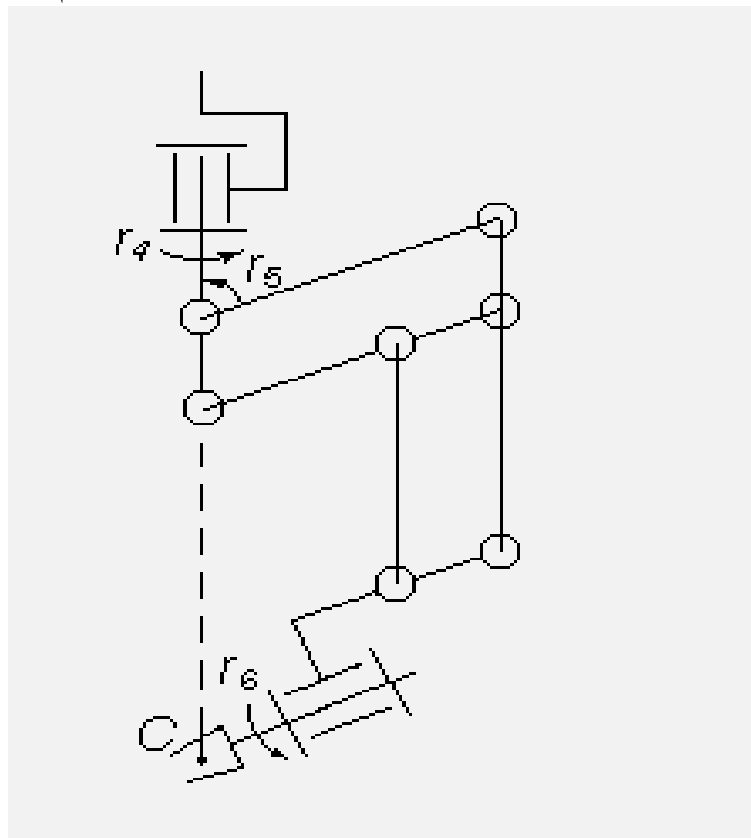


Рис. 1.17.

Рис. 1.17 иллюстрирует возможную конструкцию такого устройства, единственным недостатком которого являются его большие габариты, что уменьшает возможность доступа рабочего органа к захватываемому предмету, а также увеличивает опасность столкновения.

#### 1.1.10.4 Механизмы перемещения

В предложенной выше системе (в механизме ориентирования методом малых перемещений) рассмотрим ее верхнюю часть. Большие размеры звеньев придают манипулятору характерную архитектуру. Ограничимся анализом избыточных механических систем.

В большинстве случаев три степени свободы реализуются таким образом, что первое сочленение является поступательным или вращательным вокруг оси плоского механизма с двумя степенями свободы. Уравнения перемещения в этом случае при условии правильного выбора координат имеют вид

$$X_1 = g_1(a_1, 0, 0), \quad X_2 = g_2(0, a_2, a_3), \quad X_3 = g_3(0, a_2, a_3). \quad (1.5)$$

Начнем с рассмотрения плоского механизма, который может располагаться вертикально или горизонтально в зависимости от требований к его применению.

**Перемещение в плоскости.** (Для простоты все рисунки изображены в вертикальной плоскости.)

*Механизмы с разомкнутой цепью* сочетают обычно поступательные движения вдоль ортогональных осей, расположенных в плоскости, и/или вращения вокруг осей, перпендикулярных плоскости. Возможны четыре варианта:

- система P—P (рис. 1.18,а): в зависимости от того, находится ли ось горизонтального поступательного движения выше или ниже вертикальной оси, может иметь две разные конфигурации;
- система P—R (рис. 1.18,б): также возможны две конфигурации в зависимости от того, является ли поступательное движение горизонтальным или вертикальным;
- система R—P (рис. 1.18,в);
- система R—R (рис. 1.18,г).

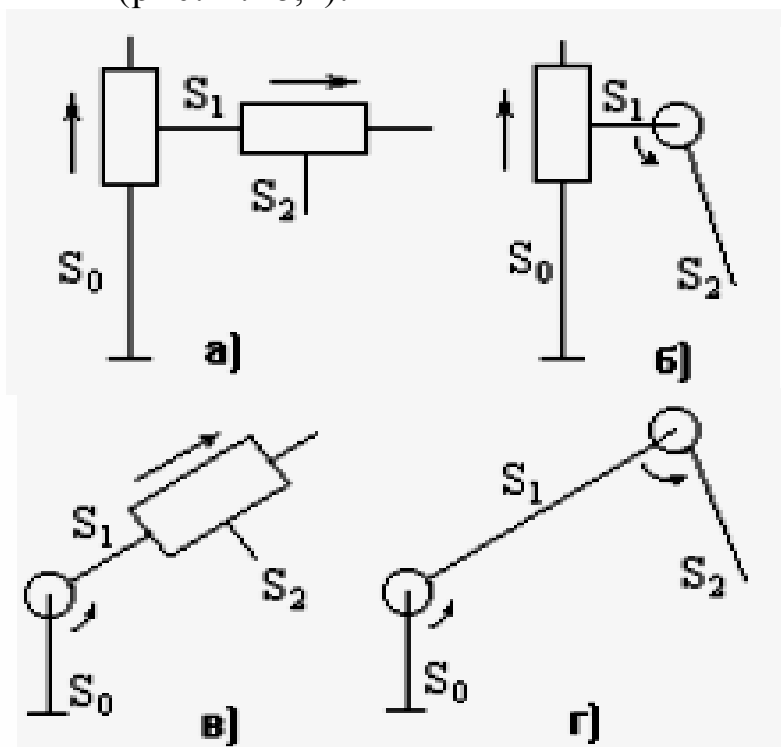


Рис. 1.18.

*Механизмы с замкнутыми цепями.* Ограничимся рассмотрением некоторых характерных кинематических схем, которые широко применяются на практике.



- Устройство, показанное на рис. 1.19 а, эквивалентно механизму с разомкнутой цепью, представленному на рис. 1.19 б. Оно позволяет замещать вращательные устройства поступательными (домкрат с электромотором, соответствующим системе винт—гайка, и т.д.).

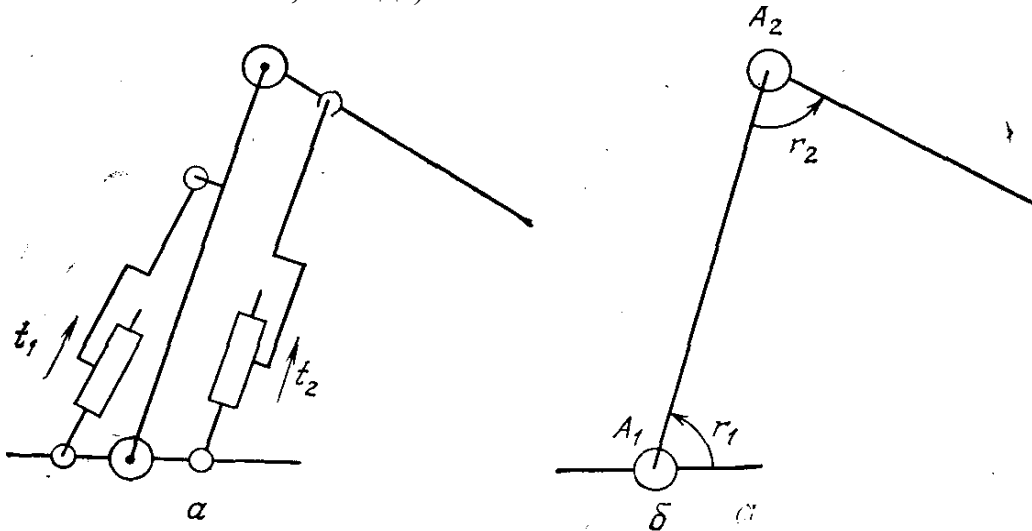


Рис. 1.19.

- Устройство в виде параллелограмма (рис. 1.20) создает движение, эквивалентное движению, которое можно получить с помощью схемы, приведенной на рис. 1.19 б.

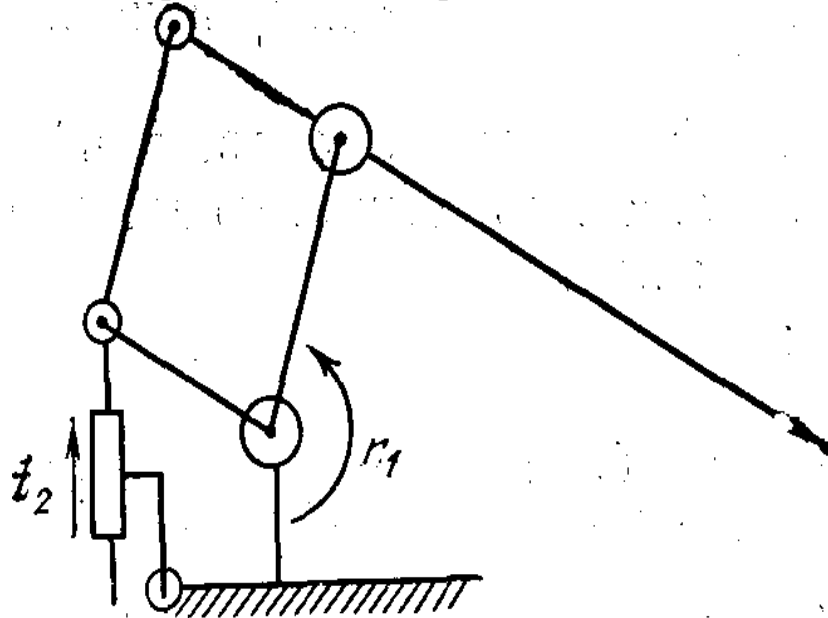


Рис. 1.20

- Устройство в виде пантографа (рис. 1.21) часто используется в подъемных механизмах в работах с большим выносом рабочего органа. Оно обычно размещается на колонне и может вращаться вокруг ее оси. Основным достоинством такого устройства является возможность осуществлять большие горизонтальные и

вертикальные перемещения точки  $C$  с помощью приводов малого хода, размещаемых в основании манипулятора.

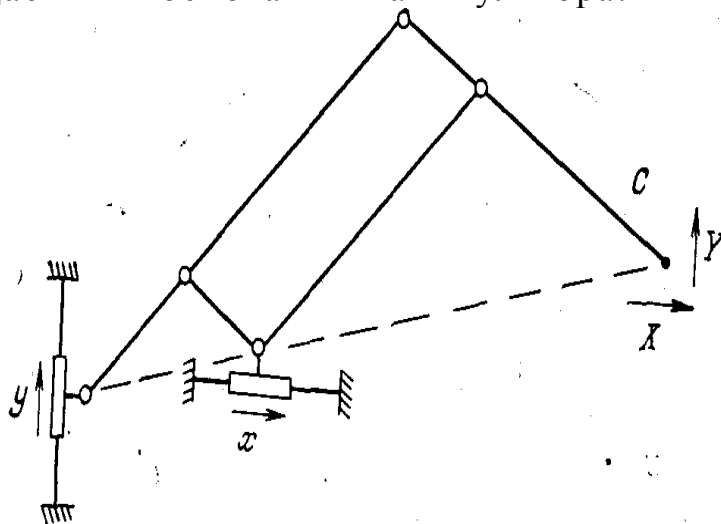


Рис. 1.21

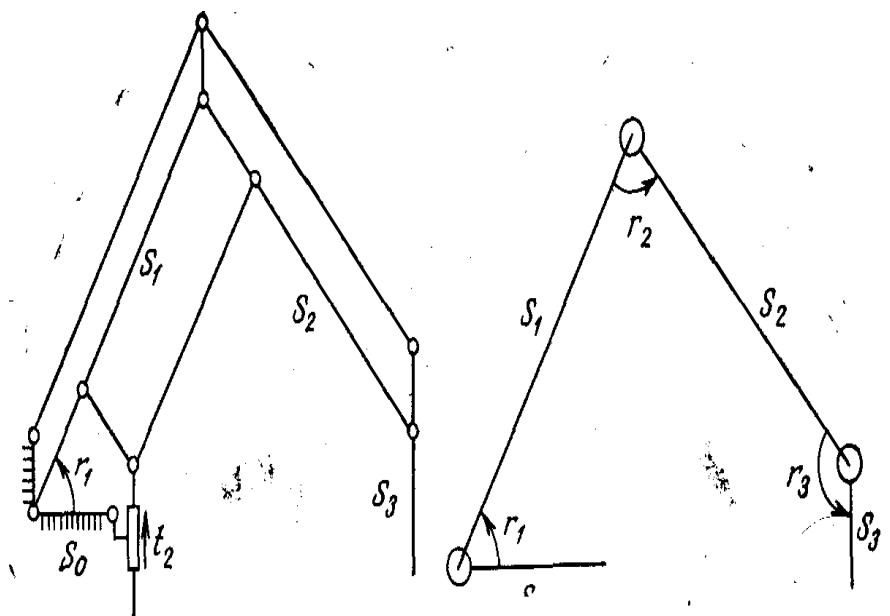


Рис. 1.22 а

Рис. 1.22 б

• Устройство, показанное на рис. 1.22 а, состоит из нескольких параллелограммов, за счет чего обеспечивает перемещение звена  $S_3$ , сохраняя его ориентацию. Последнее равносильно тому, что вращения  $r_1, r_2, r_3$  (рис. 1.22 б) связаны соотношением

$$r_3 = 270^\circ - (r_1 + r_2).$$

Перемещение в пространстве.

**Поступательное движение плоских механизмов.**

Комбинируя плоские перемещения, рассмотренные выше, с поступательным движением вдоль перпендикулярной оси, можно

получить множество кинематических схем, среди которых самыми распространенными являются следующие:

- Система типа **PPP** (рис. 1.23 а). Рабочий орган робота перемещается по траекториям, совокупность которых образует параллелепипед.

- Система типа **PRP** (рис. 1.23 б). Рабочий орган робота перемещается по траекториям, совокупность которых образует цилиндр. При этом оси поступательного и вращательного движений совпадают. Изменяя последовательности звеньев, можно менять последовательность этих движений без изменения результатов, что соответствует сложной связи с двумя степенями подвижности (стопор).

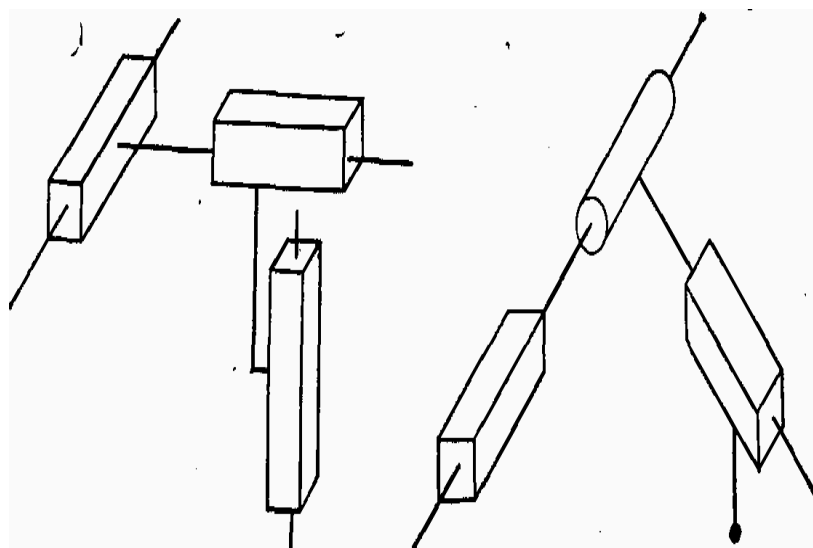


Рис. 1.23 а

Рис. 1.23 б

- Система типа **PRR** (рис. 1.23 в). Рабочий орган робота перемещается по цилиндрической поверхности. Поступательное и два вращательных движения имеют параллельные оси, поэтому существуют две эквивалентные системы типа **RPR** или **RRP**. Эта система чаще всего встречается при вертикальном расположении осей.

**Вращательное движение плоских механизмов.** Если поворачивать плоскость вокруг вертикальной или горизонтальной прямой, получаются различные структуры, из которых наиболее распространенными являются следующие:

- Система типа **RRP** (рис. 1.23 г). Робот с рабочим органом перемещаются внутри сферы.

- Система типа **RRR** (рис. 1.23 д). Робот с рабочим органом перемещаются внутри тора.

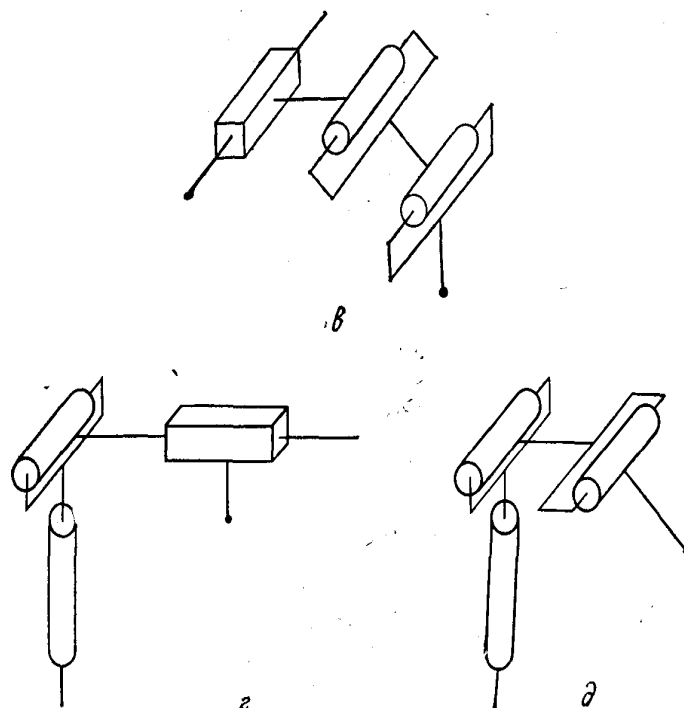


Рис. 1.23 в, г, д

## 1.2 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

### 1.2.1 Обобщенная структура

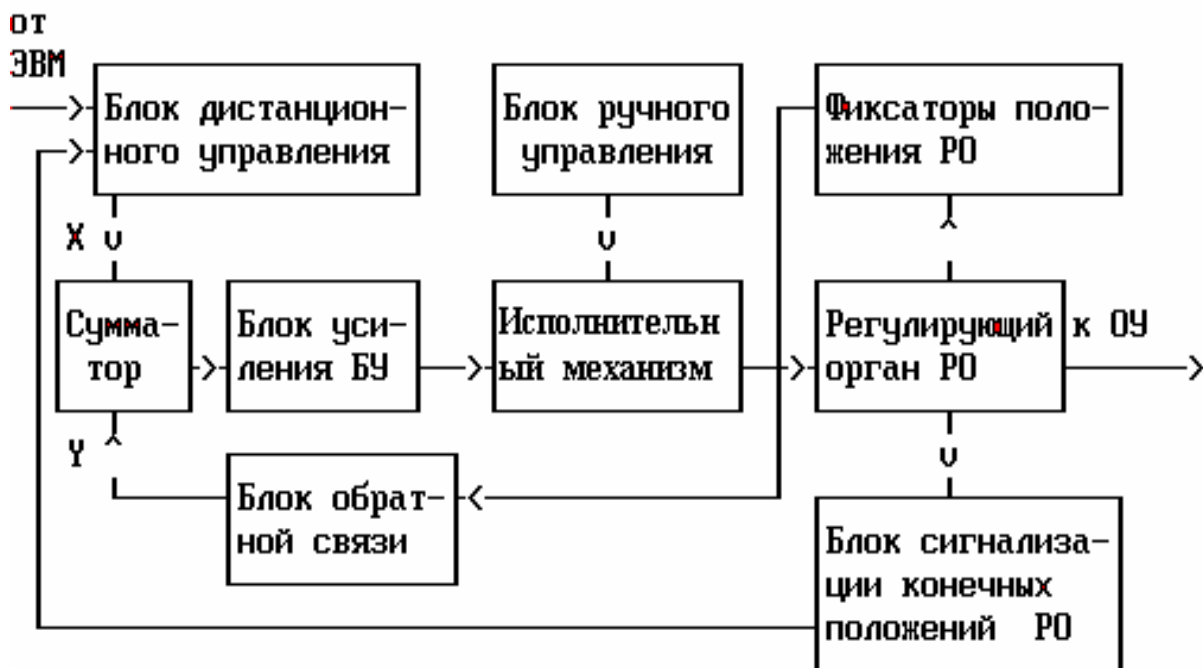


Рис.1.24.

Рассмотрим основные принципы построения электромеханических устройств. Большинство электромеханических устройств имеют ряд общих принципов построения и функционирования, которые можно проиллюстрировать обобщенной структурной схемой, приведенной на рис.1.24

Здесь блок дистанционного управления служит для приема управляющей информации от ЭВМ и для ее преобразования в вид и форму, удобную для управления исполнительным механизмом.

$X$  - выходной сигнал блока дистанционного управления. Может быть как аналоговым, так и дискретным в зависимости от типа исполнительного механизма ( $ИМ$ ) и принципа действия  $ИМ$ .

Блок ручного управления служит для ручного управления  $ИМ$ , для его проверки, а иногда для работы в автономном режиме.

Сумматор служит для выделения разности между сигналом  $X$  и сигналом  $Y$ , являющимся сигналом обратной связи, характеризующим исполнение регулирующим органом подаваемой от ЭВМ команды.

БЛОК УСИЛЕНИЯ предназначен для усиления выходного сигнала сумматора по мощности и напряжению, а также для преобразования его по форме с целью управления  $ИМ$ .

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ - это устройство, которое преобразует воздействующий на него сигнал в механическое перемещение, которое может быть линейным, угловым и т.д. (например электродвигатель с редуктором).

РЕГУЛИРУЮЩИЙ ОРГАН. С его помощью осуществляется регулирующее воздействие на объект управления.

ФИКСАТОР ПОЛОЖЕНИЯ  $PO$  - датчик местной обратной связи, который может фиксировать, например, конкретные положения выходного звена  $PO$ . Необходим для точного определения конкретной позиции  $PO$  и реализации обратной связи.

БЛОК СИГНАЛИЗАЦИИ КОНЕЧНОГО ПОЛОЖЕНИЯ  $PO$ . Служит для сигнализации конечного положения  $PO$ . По сигналам этого блока блок дистанционного управления отключает  $ИМ$  в целях предотвращения аварийных ситуаций.

Блок обратной связи служит для усиления и преобразования сигнала с выхода фиксатора положения  $PO$  до величины, приемлемой для входа сумматора.

Команда от ЭВМ поступает в блок дистанционного управления исполнительного устройства. Здесь она преобразуется в код или в аналоговую величину в зависимости от принципа построения сумматора, блока усиления и других целей. Этот код или аналоговая величина пропорциональны требуемому регулируемому воздействию на объект управления. Эта величина с выхода блока дистанционного управления поступает на вход сумматора, на второй вход которого подается сигнал обратной связи, и далее через блок усиления на вход исполнительного механизма, выходное звено которого связано с **РО**. При этом осуществляется пространственное перемещение **РО** (линейное, угловое,...), пропорциональное поданному от ЭВМ командному воздействию. В связи с погрешностями и нелинейностью в канале прохождения и преобразования команды она может быть выполнена регулирующим органом неточно (с погрешностью). С целью снижения этой погрешности введена цепь обратной связи, которая содержит во-первых, фиксатор положения **РО** (датчик положения **РО**) и далее - блок обратной связи, с выхода которого сигнал обратной связи подается на второй вход сумматора. Таким образом на выходе сумматора всегда имеется сигнал, равный разнице между сигналом команды (**X**) и сигналом обратной связи (**Y**).

Т.к. сигнал **Y** отображает истинное положение **РО**, т.е. характеризует результат выполнения команды, разностный сигнал на выходе сумматора пропорционален ошибке выполнения команды. Этот сигнал воздействует на исполнительный механизм через блок усиления, способствуя устранению погрешности. В результате этого точность исполнительного устройства повышается.

### **1.2.2 Разновидности электромеханических систем и основные принципы их построения.**

Существует множество электромеханических систем, отличающихся принципом действия, структурой, элементами, принципом управления исполнительным устройством, родом источников питания и т.д.

*По методу сравнения сигналов, электромеханических системы могут быть:*

- аналоговыми, в которых сигнал рассогласования выделяется различными методами в аналоговой форме;

- цифровыми, в которых задающим устройством является ЭВМ, а сигнал рассогласования выделяется в цифровой форме в виде кода;
- смешанными цифро-аналоговыми.

*По структурной схеме* электромеханические системы могут быть:

- одно- и двухканальными,
- с одним или несколькими принимающими устройствами,
- с последовательным или параллельным корректирующими устройствами, простыми и взаимосвязанными сложными.

На практике наиболее распространенными являются одноканальные следящие системы. Для повышения точности применяются двухканальные следящие системы, известные как системы грубого и точного отсчетов. В случае, когда суммарная погрешность исчисляется угловыми секундами при большом передаточном отношении электрической редукции, применяются также трехканальные следящие системы. Известны примеры, когда от одного задающего устройства управляются различные объекты, т.е. имеется несколько принимающих устройств.

*По типу измерительных элементов* следящие системы и регуляторы могут иметь:

- индуктивные,
- индукционные,
- потенциометрические,
- фотоэлектрические,
- емкостные,
- генераторные
- другие датчики.

Распространение получили индуктивные и индукционные элементы, наиболее полно отвечающие современным эксплуатационным требованиям.

*По типу исполнительных устройств* следящие системы и регуляторы могут быть гидравлическими, пневматическими и комбинированными (с муфтами), с электродвигателями переменного и постоянного токов, шаговыми двигателями, моментными двигателями и т.д. Однако в данном пособии рассматриваются только устройства электрического типа.

В зависимости от типа исполнительных устройств в маломощных системах применяются, главным образом, полупроводниковые усилители переменного и постоянного токов. В системах средней мощности могут применяться магнитные

усилители и тиристорные преобразователи. В мощных системах применяются электромашинные усилители и тиристорные преобразователи.

По принципу управления исполнительным двигателем наибольшее распространение имеют следящие системы и регуляторы непрерывного действия с пропорциональным изменением сигнала. На обмотку управления двигателем подается напряжение, пропорциональное углу рассогласования, и соответственно частота вращения исполнительного двигателя пропорциональна сигналу рассогласования. Применяется также управление релейного типа, при котором на обмотку управления двигателя при определенном угле рассогласования или при определенном значении управляющего сигнала подается максимальное напряжение. При частотном управлении двигателем на обмотку управления подаются импульсы постоянной длительности, но изменяется частота их следования, или при постоянной частоте следования импульсов изменяется их длительность. При этом частота вращения двигателя пропорциональна частоте импульсов или их длительности.

Возможны схемы управления, в которых при малом рассогласовании имеется линейный участок изменения сигнала, а при каком-то заданном угле рассогласования применяется релейное управление. Существуют и другие принципы управления исполнительными устройствами.

Приведенные разновидности, естественно, носят условный характер. Они указывают лишь на большое разнообразие электромеханических систем.

Все электромеханические системы разделяются на 5 типов:

- ЭМС позиционного действия, например, система позиционирования магнитных головок.
- ЭМС постоянной скорости. Их назначение - поддержание заданной постоянной скорости выходного звена.
- ЭМС переменной скорости. Предназначены для перемещения выходного звена с заданным ускорением в каждый заданный момент времени.
- ЭМС следящего типа (следящие системы). Наиболее распространенными из них являются системы дистанционного слежения за угловыми и линейными перемещениями. Они осуществляют с определенной точностью передачу угла или линейного перемещения при заданной нагрузке на выходной оси от аналоговых и измерительных элементов или цифровых



вычислительных машин в качестве задающих устройств, причем закон изменения движения входной оси или сигнала с ЭВМ по углу, скорости и ускорению может иметь любой вид, включая произвольную и случайную функцию времени.

- ЭМС комбинированного типа. Следует отметить, что многие из реально действующих ЭМС, прежде всего большинство систем позиционирования, принадлежат к этому типу, т.к. в них обычно требуется реализация двух или трех указанных выше свойств.

#### **1.2.2.1 ЭМС позиционного типа**

Основная задача таких устройств - установка выходного звена регулирующего органа в заданное положение с заданной точностью.

Существует два типа подобных устройств:

Системы позиционирования, имеющие два положения, работающие по принципу - открыть, закрыть. Эти устройства являются наиболее простыми, в них используются для обратной связи датчики конечных положений, при срабатывании которых исполнительная часть устройства отключается.

Устройства, предназначенные для точного позиционирования выходного звена регулирующего органа в любое заданное положение, находящееся в рабочем диапазоне перемещений данного устройства. Применяются в системах позиционирования магнитных головок в накопителях на магнитных дисках, в графических регистрирующих устройствах и т.п.

#### **1.2.2.2 ЭМС постоянной скорости.**

Основная функция таких устройств - перемещение выходного звена РО с заданной скоростью, устанавливаемой с заданной точностью.

Чаще всего это электроприводы, имеющие на выходе звено с угловым перемещением (вращением).

В данных устройствах по сравнению с устройствами первого типа вместо датчика положения РО установлен датчик скорости, на выходе которого имеется уровень напряжения, а иногда код, в зависимости от типа датчика, пропорциональный скорости перемещения выходного звена. Чаще всего в качестве такого датчика используется тахогенератор, представляющий собой генератор постоянного тока.

В основном алгоритм работы схемы аналогичен предыдущему.

### **1.2.2.3 ЭМС переменной скорости.**

Основное назначение таких устройств - перемещение выходного звена РО с заданной скоростью относительно каждого момента времени и для каждого текущего промежуточного положения звена РО, т.е. режим изменения скорости в данном случае является рабочим режимом, в то время как в устройствах постоянной скорости режим изменения скорости является переходным режимом.

В структурной схеме подобных устройств предполагается установка датчика ускорений выходного звена РО и формирование сигнала обратной связи, пропорционального этому ускорению. В схему также вводятся блоки, предотвращающие автоколебательный режим.

### **1.2.2.4 ЭМС следящего типа (следящие системы).**

В связи с широким внедрением электронных вычислительных машин (ЭВМ) в автоматических устройствах появилась потребность в создании цифровых следящих систем и регуляторов. В тех случаях, когда нет такой необходимости, по-прежнему применяются аналоговые следящие системы и регуляторы, отличающиеся своей простотой.

Наиболее распространенными следящими системами являются системы дистанционного слежения за угловыми и линейными перемещениями. Они осуществляют с определенной точностью передачу угла или линейного перемещения при заданной нагрузке на выходной оси от аналоговых и измерительных элементов или цифровых вычислительных машин в качестве задающих устройств, причем закон изменения движения входной оси или сигнала с ЭВМ по углу, скорости и ускорению может иметь любой вид, включая произвольную и случайную функцию времени. Специфика работы этих систем связана с требованиями получения необходимой точности передачи угловых и линейных перемещений.

На рис. 1.25 в качестве примера представлена структура наиболее распространенной аналоговой системы передачи угла.

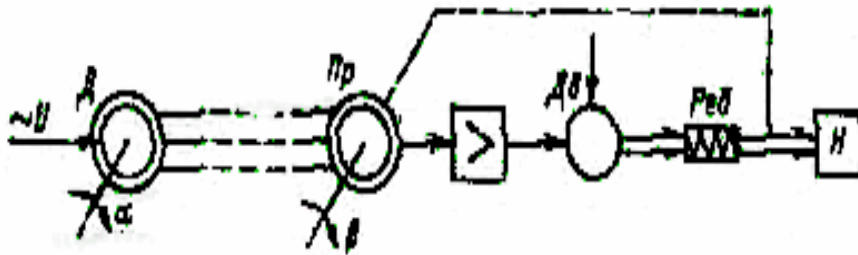


Рис. 1.25

Помимо измерительных элементов, датчика  $Д$  и приемника  $Пр$ , определяющих в основном точность системы, она состоит из усилительно-преобразовательного устройства, в которое входят элементы корректирующего контура и преобразователи электрических сигналов (демодуляторы и модуляторы), из исполнительного двигателя  $Дв$  с редуктором  $Ред$ , который отработывает угол рассогласования до согласованного положения между углами  $\alpha$  и  $\beta$ , преодолевая момент нагрузки  $Н$  на выходной оси.

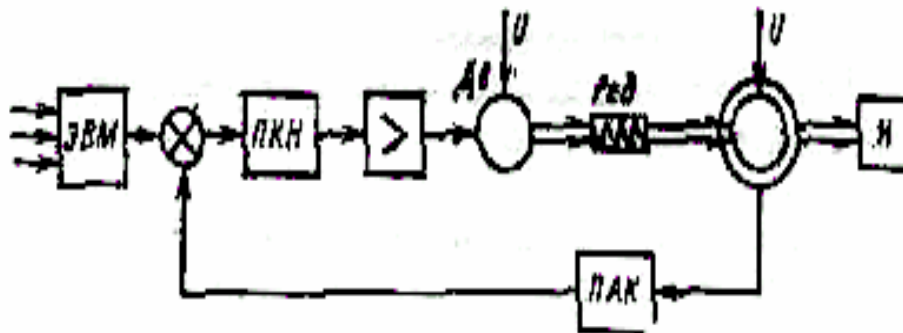


Рис. 1.26

На рис. 1.26 представлена типовая функциональная схема цифровой следящей системы, в которой роль задающего устройства выполняет ЭВМ, сравнение выходных сигналов задающего и принимающего устройства в виде двоичного кода происходит в ЭВМ, а разность кодов преобразовывается в преобразователе код—напряжение ( $ПКН$ ). Для этой цели в качестве датчика обратной связи (приемника  $Пр$ ) применяется либо кодовый преобразователь, либо аналоговый датчик с последующим преобразованием аналогового сигнала в код. Преобразователь аналог—код ( $ПАК$ ) является источником дополнительной погрешности в цифровых следящих системах.

Существует множество разных устройств автоматического регулирования: регуляторы частоты вращения двигателя, регуляторы температуры, давления, влажности различных

объектов регулирования, регуляторы частоты и амплитуды напряжений источника питания и т. д. Корректирующие устройства, применяемые в системах автоматического управления, относят также к регуляторам.

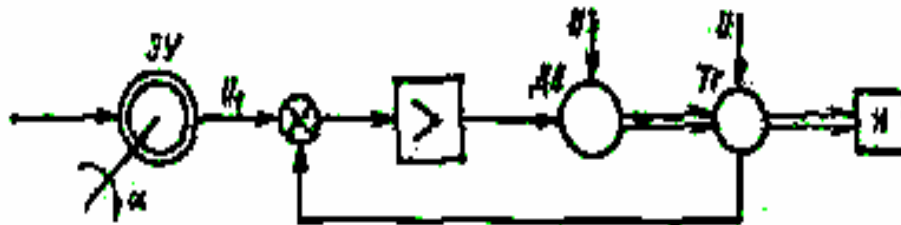


Рис. 1.27

В качестве примера на рис. 1.27 представлена схема регулятора частоты вращения двигателя. Значение частоты вращения может быть изменено пропорционально напряжению  $U1$  задающего устройства (ЗУ). Датчиком обратной связи является тахогенератор переменного или постоянного тока (Тг), который в основном и определяет точность регулирования.

### 1.2.3 НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦСП

#### 1.2.3.1 Особенности построения

##### 1.2.3.1.1 Обобщенная структура

На рис.1.28 приведена обобщенная структура системы позиционирования.

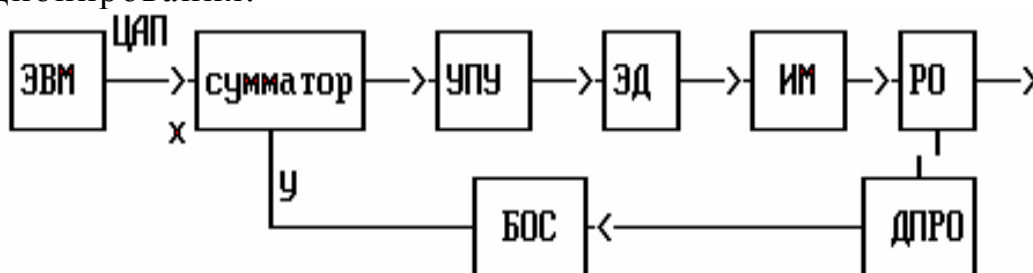


Рис.1.28

На выходе блока обратной связи (БОС) должен быть сформирован код  $У$ , пропорциональный текущему положению выходного звена регулирующего органа, вырабатываемый датчиком положения регулирующего органа (ДПРО), который сравнивается с кодом  $Х$ , являющимся командой ЭВМ, определяющей требуемую позицию  $РО$ .

Усилительно-преобразующее устройство (**УПУ**) служит для преобразования и усиления сигнала с выхода сумматора для управления электродвигателем **ЭД**.

Между выходом **ЭВМ** и входом сумматора может быть расположен **ЦАП** (цифроаналоговый преобразователь).

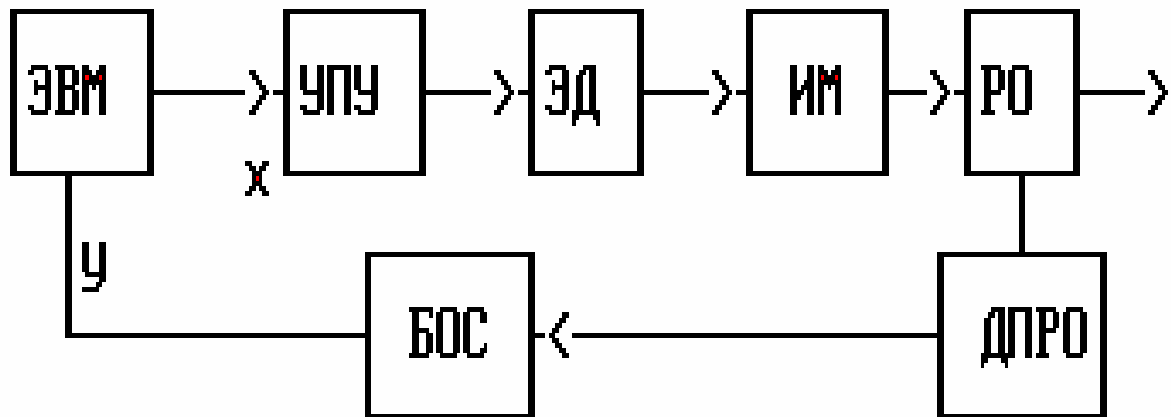


Рис.1.29

Возможна и другая структура системы позиционирования, приведенная на рис.1.29.

В данной схеме корректирующее воздействие, основанное на определении реального положения выходного звена **РО**, формирует сама **ЭВМ**. Осуществляется это за счет сравнения первоначального значения **X** и значения сигнала обратной связи **Y**. Корректирующее воздействие есть разность между этими значениями. В данном случае на выходе **БОС** должен быть сформирован код **Y**, соответствующий положению выходного звена **РО**.

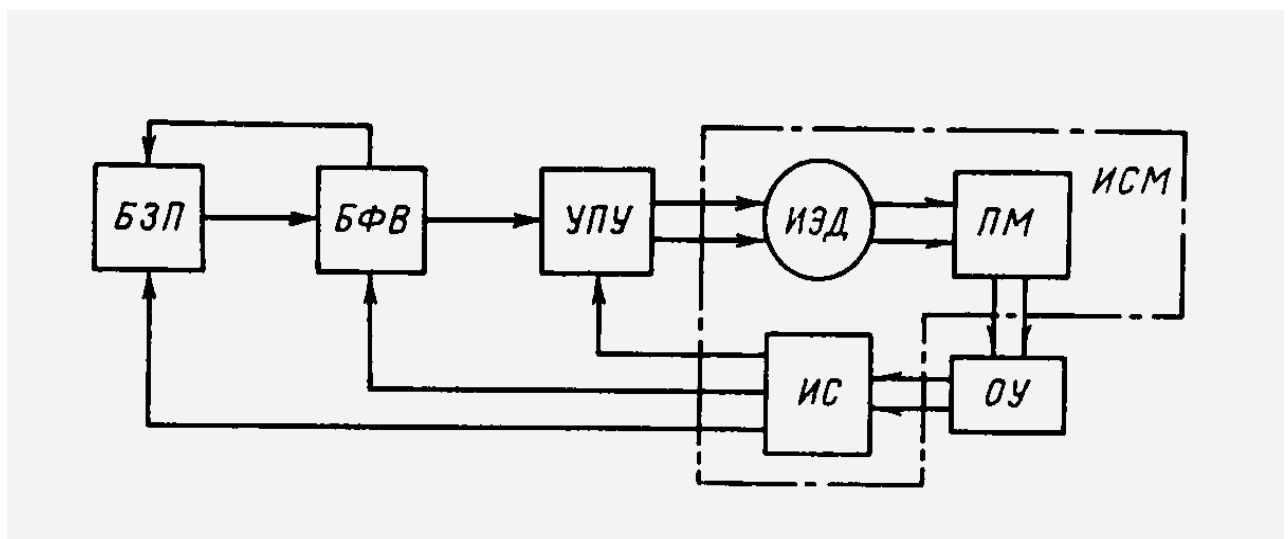


Рис. 1.30

В качестве первичных преобразователей перемещения в *ЦСП* широко используются устройства, генерирующие непрерывный аналоговый выходной сигнал, пропорциональный перемещению. К таким устройствам относятся потенциометры, сельсины и синусно - косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). Они обладают высокой разрешающей способностью, хорошей помехозащищенностью и имеют небольшие габаритные размеры.

Диапазон погрешности позиционирования для большинства ПР с позиционным или контурным управлением составляет 0,2—2 мм, что эквивалентно относительной погрешности  $2^{-15}$ — $2^{-11}$  по отношению к используемым диапазонам перемещения. Обычно в них используются аналоговые первичные преобразователи.

Промышленные роботы, оснащенные аналоговыми первичными преобразователями, обычно не уступают по точности роботам, в которых использованы цифровые датчики с прямым преобразованием. Это объясняется не только тем, что на основе аналоговых первичных преобразователей успешно реализуются аналого-цифровые преобразователи перемещений, не уступающие кодирующим преобразователям, но и возможностью применения обучения при программировании промышленных роботов.

При всем разнообразии принципов управления и конкретных технических решений система автоматического управления движением ПР может быть представлена обобщенной структурной схемой, показанной на рис. 1.30.

Она содержит блок задания программы (*БЗП*), блок формирования управляющих воздействий (*БФВ*), усилительно-преобразовательное устройство (*УПУ*), исполнительный электродвигатель (*ИЭД*), передаточный механизм (*ПМ*), объект управления (*ОУ*) и информационно-измерительную систему (*ИС*). Совокупность *ИЭД*, *ПМ* и *ИС* образует информационно-силовой модуль (*ИСМ*), который совместно с *УПУ* составляет *ЭМТП*.

Блок задания программы обычно используется для нескольких каналов управления степенями подвижности робота, обеспечивающими совместно перемещение в пространстве его рабочего органа; *БЗП* содержит память программы и логико-вычислительное устройство, выполняющее первичную обработку команд программы и выдачу их на вход контуров управления перемещением в согласованной форме. Выдача команд обусловлена наличием ответного сигнала об исполнении предыдущих команд или является функцией времени.

Блок формирования управляющих воздействий предназначен для формирования управляющих сигналов, непосредственно воздействующих на *ЭМТП* робота. Исходной информацией для него служат задание на перемещение от БЗП, а также информация о состояниях *ИСМ* звеньев манипулятора через *ИС*. При управлении в функции времени эта связь может не использоваться.

При контурном управлении задача *ЦСП* состоит в отслеживании непрерывно изменяющегося задания по положению. Структурная схема контура управления аналогична схеме на рис. 1.30, меняются только функции входных устройств. Блок задания программы формирует в определенном темпе последовательность заданий по положению, составляющих траекторию перемещения. Частота выдачи заданий должна быть такой, чтобы дискретность не отражалась на плавности механизма и устойчивости работы *ЦСП*.

Блок формирования управляющих воздействий *БФВ* обеспечивает управление положением с заданной скоростью и коэффициентом усиления. При контурном управлении находят применение и более сложные законы регулирования положения.

#### 1.2.3.1.2 Традиционные построения

Анализ известных построений *ЦСП* свидетельствует о том, что в *ПР* высокой точности и производительности следует использовать построение *ЭМТП* с подчиненными контурами регулирования. Это обеспечивает *ЦСП* широкий диапазон регулирования по скорости и положению в сочетании с высокими динамическими показателями в условиях значительного изменения момента нагрузки. Такой принцип построения позволяет настраивать отдельные контуры независимо и более точно, добиваясь необходимого качества работы. Управление такими *ЦСП* от ЭВМ и применение в них цифровых регуляторов и средств коррекции предопределяет дальнейшее расширение их возможностей.

Система содержит основной контур регулирования по положению или скорости, охваченный главной обратной связью по соответствующему параметру, и подчиненные контуры регулирования напряжения, тока двигателя и других координат, образованные локальными обратными связями. При формировании входного сигнала управления скоростью учитывается информация о рассогласовании по положению.

Для определения рассогласования по положению используется аналоговый или цифровой датчик положения, механически связанный со звеном манипулятора. Датчик скорости может быть как аналоговым, так и цифровым. В том случае, когда используется прецизионный датчик положения, обладающий высоким быстродействием, и имеется достаточный резерв машинного времени, сигнал, характеризующий скорость перемещения, может быть получен путем дифференцирования сигнала от датчика перемещения.

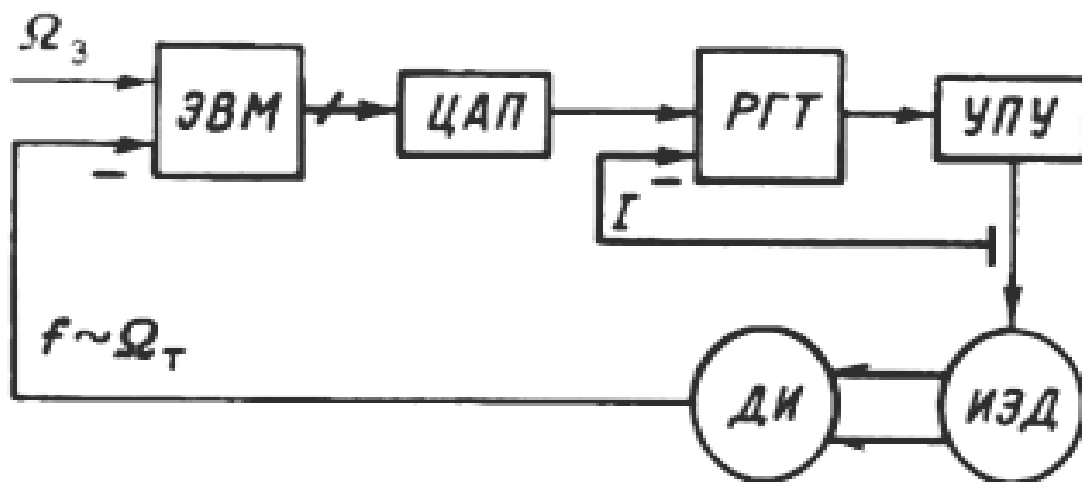


Рис. 1.31

В качестве регуляторов тока и скорости используются аналоговые операционные усилители, с помощью которых реализуются требуемые законы управления.

На рис. 1.31 представлена структурная схема двухконтурного ЭМТП, где  $\Omega_z$  и  $\Omega_m$  — соответственно заданная и текущая скорости перемещения.

Контур регулятора тока  $I$  образован ИЭД, УПУ и регулятором тока (ПРГТ). Контур регулирования скорости в двухконтурном ЭМТП является главным и содержит помимо подчиненного контура регулирования тока  $I$  датчик импульсов (ДИ) и ЭВМ.

В трехконтурном ЭМТП (рис. 1.32) контур регулирования скорости содержит преобразователь скорости (ПРС) и регулятор скорости (РГС). В главный контур ЦСП помимо подчиненных контуров регулирования тока  $I$  и текущей скорости  $\Omega_m$  входят преобразователь угла (ПРУ) и ЭВМ, вычисляющая разность между заданным  $\Theta_z$  и текущим  $\Theta_m$  значениями угла.



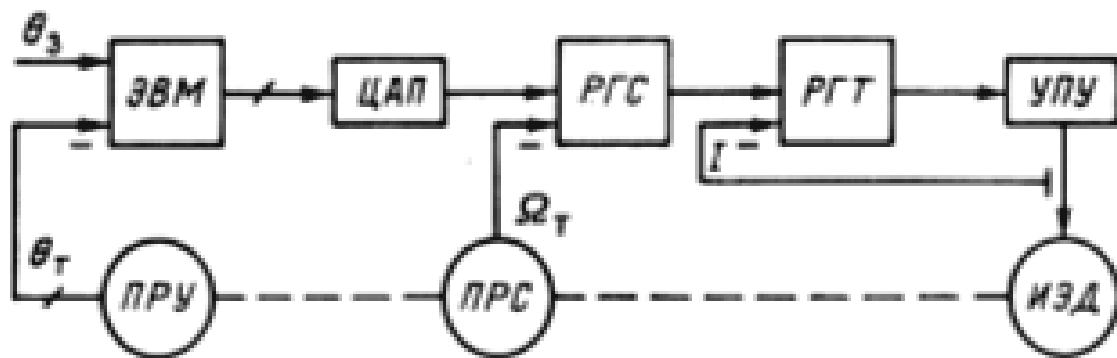


Рис. 1.32.

В зависимости от соотношения аналоговых и цифровых средств управления такие ЦСП подразделяются на:

1) цифроаналоговые, в которых цифровым выполняется лишь внешний контур регулирования скорости исполнительного элемента, а внутренние контуры, в том числе и **УПУ**, строятся на основе аналоговых регуляторов и импульсно-фазовых устройств;

2) цифровые, с прямым цифровым управлением всеми контурами регулирования и **УПУ**. При прямом цифровом управлении исполнительными элементами непрерывного типа усложняются алгоритмы управления, особенно алгоритмы управления токовым контуром, **УПУ** и предъявляются повышенные требования к быстродействию управляющей ЭВМ. Системы с цифровым управлением только внешними контурами (внутренние контуры при этом выполняются аналоговыми) и при их практической реализации оказываются более простыми и не требуют повышенного быстродействия ЭВМ, которая при достаточном быстродействии может обеспечить поочередное управление несколькими **ЦСП**. Весьма эффективным в таких ЦСП является использование контроллеров на основе микропроцессоров.

В связи с разнообразием технических решений возможны многочисленные варианты построения ЦСП. Главной отличительной их особенностью является соотношение между цифровой и непрерывной частями системы, т.е. границей **ПФИ**. Вариант, в котором превалирует аналоговое начало, предусматривает цифроаналоговое преобразование непосредственно на выходе ЭВМ и дальнейшее аналоговое управление перемещением с использованием в контурах обратной связи по углу, скорости аналоговых элементов. Такому построению в полной мере свойственны достоинства и

недостатки аналоговых ЭМТП, и их применение обычно ограничивается системами с умеренными показателями точности, быстродействия и стоимости.

Можно выделить три основных фактора, снижающих эффективность использования аналоговых *ЭМТП*:

1) переналадка системы при изменении параметров управления требует смены установок построечных потенциометров и замены отдельных элементов, что связано с ручными операциями обслуживающего персонала и потерями времени;

2) наличие температурного дрейфа и старения аналоговых элементов схемы приводит к необходимости проведения периодических проверок и перенастроек;

3) отсутствие гибкости не позволяет производить расширение функциональных возможностей без изменения аппаратного обеспечения. Параметры регулятора оптимизируются в зависимости от функциональных особенностей и используемого *ИЭД*.

Применение микроЭВМ упрощает *ЦСП* за счет исключения элементов перенастройки системы, повышает ее гибкость. Изменение ее параметров может производиться по программе, например от персональной ЭВМ, что существенно снижает затраты времени на перестройку по сравнению с аналоговыми системами. Наличие соответствующего программного обеспечения позволяет осуществлять углубленную диагностику *ЦСП*, что снижает время на устранение неисправностей.

Цифроаналоговые системы позиционирования с микропроцессорным управлением менее подвержены влиянию помех, старению и появлению погрешностей, связанных с температурным дрейфом, поскольку на параметры программного обеспечения указанные факторы не действуют. Применение программ коррекции ошибок позволяет осуществить контроль и восстановление потерянных или ошибочных данных. Ряд трудностей, возникающих в *ЦСП* с непрерывными исполнительными элементами при прямом цифровом управлении, может быть устранен при использовании дискретных *ЭМТП*. Применение их в *ЦСП* в виде традиционных разомкнутых или замкнутых структур не позволило им составить должную конкуренцию непрерывным *ЭМТП* по эффективности преобразования энергии.

Введение в дискретные *ЭМТП* дополнительных контуров регулирования, т.е. выход на аналогичный с непрерывными *ЭМТП* уровень информационного обеспечения, позволяет дискретным исполнительным элементам конкурировать с непрерывными и по энергетическим показателям.

#### 1.2.3.1.3 Дискретные *ЭМТП*

Варианты, предусматривающие преимущественное использование цифровых методов управления, весьма заманчивы своей структурной простотой. Это, в первую очередь, относится к разомкнутым *ЭМТП* с *ШЭД*, которые предпочтительно использовать в том случае, когда можно допустить высокие скорости и ускорения перемещения, дискретность шагового перемещения и перерегулирование.

Однако главное достоинство традиционного разомкнутого *ЭМТП* с *ШЭД* — возможность работать без датчика положения — часто не реализуется, поскольку контроль отработки бывает необходим из-за предотвращения «потери» шагов в переходных режимах. Повышенная чувствительность *ШЭД* к моменту инерции нагрузки, связанная с импульсным характером управления, затрудняет его использование в системах с переменным моментом инерции. Поэтому в настоящее время применение традиционных структур *ЭМТП* с *ШЭД* ограничено. Устранение этих ограничений связано с совершенствованием алгоритмов и способов управления *ШЭД* в локально-замкнутых системах, требующих для своей реализации повышения уровня и степени информационного обеспечения путем введения цифровых обратных связей.

При их использовании в *ЦСП* принцип цифрового управления перемещением от ЭВМ доводится до логического завершения. Повышению эффективности таких *ЦСП* в значительной мере способствует внедрение микропроцессорного управления и достижения в области техники *ЦСП*.

Структурная схема *ЦСП* с повышенным уровнем информационного обеспечения и управлением от микроЭВМ представлена на рис. 1.33.

Она содержит микроЭВМ, на вход которой от ЭВМ высшего уровня поступает в цифровой форме заданное перемещение  $\Theta_z$ . Текущее значение перемещения  $\Theta_m$  формируется на выходе *ПП*, связанного с *ИЭД*. Текущее значение скорости перемещения  $\Omega_m$  формируется цифровым тахометром (*ЦТ*), а текущее значение

ускорения перемещения  $\varepsilon_m$  — цифровым акселерометром (**ЦА**). Вход **ПП** связан с ротором **ИЭД**, который управляется от микроЭВМ через преобразователь «код—ШИМ» (**ПКШ**) и **УПУ**. В соответствии с законом управления и на основании информации о состоянии системы, поступающей в микроЭВМ по каналам обратной связи, формируется закон управления **ИЭД**.

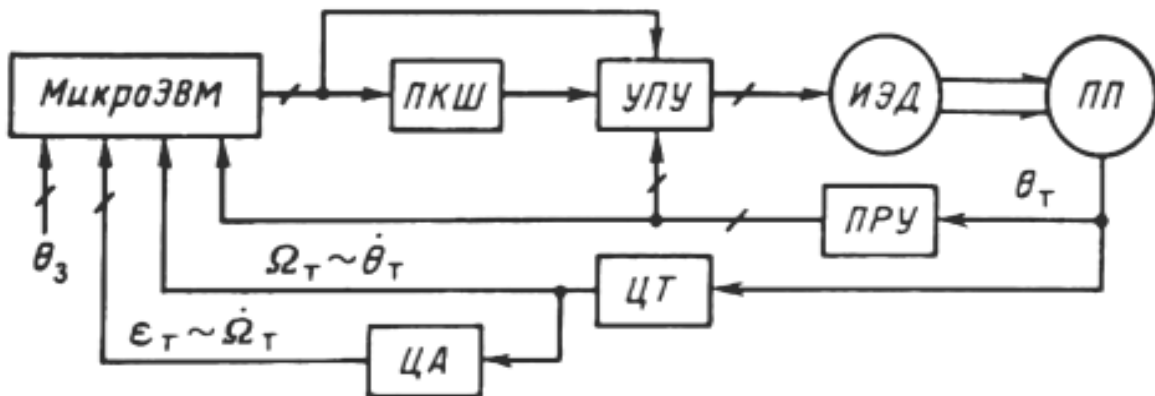


Рис . 1.33

Реализация обратных связей может быть выполнена в вариантах с кодовым, инкрементальным и аналоговым первичными преобразователями. Следует отметить, что предлагаемый вариант в достаточной степени универсален и может использоваться в **ЦСП** с различным соотношением аналоговой и цифровой частей, он совместим с цифровым (**ЦП**) и сигнальным (**СП**) процессорами.

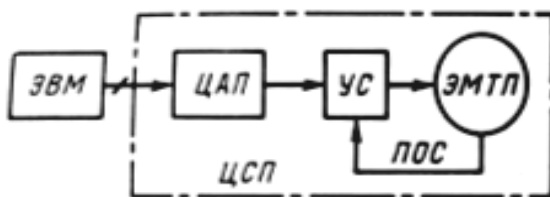


Рис. 1.34

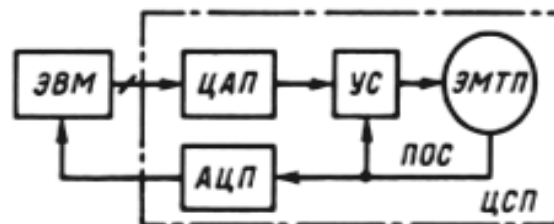


Рис. 1.35

К преимуществам такого построения **ЦСП** относится унификация информационно - силовых модулей (**ИСМ**) для непрерывного и цифрового вариантов безредукторного **ЭМТП** на основе **ШЭД** и **ВЭД**. Изменение способов и алгоритмов управления электродвигателем позволяет реализовать на основе такого **ИСМ** гамму **ЭМТП**, обладающих широким спектром динамических и энергетических показателей. Повышению

эффективности *ЦСП* с таким *ИСМ* в значительной мере способствует управление *ЭМТП* от ЭВМ.

В зависимости от способа обмена данными между ЭВМ и *ЭМТП* возможны четыре варианта построения *ЦСП* с аналоговым сравнивающим устройством (рис. 1.34—1.37).

В схеме на рис. 1.34 ЭВМ выполняет функции программного устройства и обеспечивает формирование управляющих сигналов через *ЦАП* и устройство сравнения (*УС*) на *ЭМТП*, контур позиционной (главной) обратной связи (*ПОС*) которого замыкается через *УС*. Информация о состоянии *ЭМТП* в ЭВМ не вводится. Цифроаналоговая система позиционирования является автономной по отношению к ЭВМ. К преимуществам построения такой *ЦСП* относится простота программного обеспечения, а к недостаткам — отсутствие контроля за исполнением команд со стороны ЭВМ.

Второй вариант построения *ЦСП* (рис. 1.35) предусматривает устранение этого недостатка за счет введения в состав *ЦСП* *АЦП*, через который информация о перемещении вводится в ЭВМ, что позволяет постоянно контролировать и корректировать траекторию движения *ЭМТП*. Этот вариант построения *ЦСП*, несомненно, является более перспективным с точки зрения дальнейшего совершенствования систем данного класса. Этому в значительной мере способствует прогресс в области разработки цифровых преобразователей перемещения на основе первичных преобразователей аналогового типа.

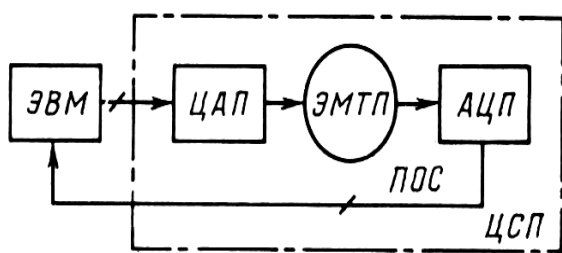


Рис. 1.36.

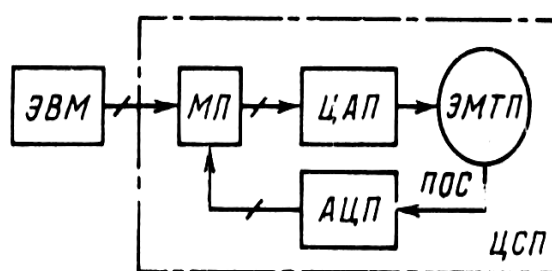


Рис. 1.37.

Цифроаналоговая система позиционирования, выполненная по второму варианту, в определенной степени сохраняет свою автономность по отношению к ЭВМ в отличие от *ЦСП*, выполненной по варианту на рис. 1.36, где производится их совмещение. ЭВМ становится составной частью *ЭМТП*, и главная обратная связь замыкается через нее. ЭВМ выполняет

цифровую коррекцию *ЭМТП*, что позволяет существенно улучшить динамику и точность *ЦСП*. Объем вычислений ЭВМ возрастает по сравнению с объемом вычислений по двум предыдущим вариантам за счет выполнения вычисления помимо текущих управляющих сигналов и корректирующих воздействий.

При необходимости сохранения автономности *ЦСП* по отношению к ЭВМ используется вариант построения с *МП* (рис. 1.37). На него возлагаются задачи исполнительного уровня управления. Одним из основных преимуществ микропроцессорного управления *ЦСП* является его гибкость и универсальность, поскольку программа коррекции системы размещается в программируемом (*ППЗУ*) или перепрограммируемом (*РПЗУ*) постоянном запоминающем устройстве (*ПЗУ*) *МП*, что позволяет производить ее оперативное изменение.

В зависимости от последовательности обработки входной информации, способов *ПФИ* возможны многочисленные варианты построения систем рассматриваемого класса, отличающиеся широкой гаммой эксплуатационных показателей. Среди них основное внимание обычно уделяется удобству сопряжения с ЭВМ, быстродействию, точности, надежности и помехоустойчивости. Немаловажным фактором, позволяющим осуществить оптимальный инженерный синтез системы, являются и ее функциональные возможности по реализации оптимальных и адаптивных алгоритмов управления, затрат вычислительного времени управляющей ЭВМ, формирования информации для координатных преобразований перемещений в пространстве.

### **1.3 ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Для удобства изложения рассмотрим основные источники погрешностей следящих систем, а для регуляторов укажем отличительные особенности.

Суммарная погрешность следящих систем состоит из статической  $\Delta\varphi_{ст}$  и динамической  $\Delta\varphi_{дин}$  погрешностей.

Статическая погрешность следящей системы представляет собой разность между угловыми положениями входной и выходной осей после отработки двигателем системы заданного угла. Эта погрешность складывается из погрешностей измерительных элементов  $\Delta\varphi_{и.э}$  датчика и приемника системы,

погрешности преобразователей аналоговых сигналов в код в цифровых следящих системах  $\Delta\varphi_{а.к}$ , погрешности застоя или зоны нечувствительности  $\Delta\varphi_з$ , обусловленной моментом нагрузки, погрешности от дрейфа нулевого положения датчика и приемника, усилительно-преобразовательного устройства  $\Delta\varphi_{др}$ , погрешности изготовления зубчатых колес измерительного редуктора в системах грубого и точного отсчетов  $\Delta\varphi_{з.к}$ , погрешности люфта в них  $\Delta\varphi_{л}$ , погрешности установки нуля измерительных элементов и сочленения их вала с валом прибора  $\Delta\varphi_{в}$ . Часто необходимо учитывать погрешности от изменения температуры окружающей среды  $\Delta\varphi_{т}$ , от изменения напряжения и частоты питания и от каких-либо других факторов. В сложных системах возможно влияние каналов друг на друга. Могут быть и другие источники погрешностей, связанные со спецификой работы следящих систем. При применении относительно грубых измерительных элементов доля других перечисленных выше погрешностей, за исключением погрешностей ПАК, незначительна. Поскольку точности современных измерительных элементов значительно возросли и находятся в пределах нескольких угловых минут, другие источники погрешностей в ряде случаев оказались соизмеримыми с погрешностью измерительных элементов. Если иметь в виду появление нового класса прецизионных измерительных элементов, погрешности которых исчисляются долями угловых минут или несколькими угловыми секундами, то становится очевидным необходимость учета всех перечисленных источников погрешностей. Погрешность зоны нечувствительности зависит от коэффициента усиления усилителя, и поэтому с целью снижения ее влияния на суммарную погрешность системы удастся уменьшить ее до значения, меньшего погрешности измерительных элементов, хотя при этом усложняется выбор корректирующих устройств. Так как перечисленные источники погрешностей являются взаимно независимыми, суммарную погрешность можно определить как среднеквадратическую, т. е.

$$\Delta\varphi_{ст} = \sqrt{(\Delta\varphi_{и.э.}^2 + \Delta\varphi_{а.к.}^2 + \Delta\varphi_з^2 + \Delta\varphi_{др}^2 + \Delta\varphi_{з.к.}^2 + \Delta\varphi_{л}^2 + \Delta\varphi_{в}^2 + \Delta\varphi_{т}^2 + \dots)}$$

Из практики проектирования следящих систем известно, что определяющим источником погрешности, даже в случае применения высокочастотных датчиков и приемников, является погрешность измерительных элементов, которая в свою очередь зависит от множества источников погрешностей.

Результирующая погрешность двухполюсных измерительных элементов, как правило, имеет характер второй гармоники в функции угла поворота в сумме с высшими гармоническими составляющими. Ее определяют как полусумму абсолютных значений максимальных положительных и отрицательных величин:

$$\Delta\varphi_{ст} = \frac{|\Delta\varphi_{\max}| + |-\Delta\varphi_{\max}|}{2}.$$

При применении измерительных элементов с электрической редуцией располовинивание погрешностей в пределах угла  $360^\circ$  невозможно из-за неопределенного характера ее изменения в функции угла поворота. Поэтому погрешность определяется максимальным ее значением. Число таких максимальных значений невелико, а характер изменения погрешности подчиняется нормальному закону распределения, поэтому ее можно оценить не по максимальному, а по среднеквадратическому значению.

Динамическая погрешность следящей системы  $\Delta\varphi_{дин}$  представляет собой разность между угловыми положениями входной и выходной осей при произвольном законе вращения входной оси. Слежение за положением входной оси осуществляется с определенной точностью в зависимости от выбранных параметров системы.

Оценку динамической погрешности, как правило, производят либо при непрерывном вращении, либо при гармонических колебаниях входной оси. При допустимой динамической погрешности требуемый переходный процесс должен обеспечиваться выбором необходимых корректирующих устройств и их параметров.

Погрешность в установившемся режиме при вращении входной оси с постоянной скоростью называют кинетической погрешностью. Она зависит от коэффициента усилителя и параметров следящей системы.

Отношение частоты вращения входного вала  $\Omega_{вх}$  системы к установившемуся значению скоростной погрешности  $\Delta\varphi_{ск}$  носит название добротности системы по скорости  $K$ . Отсюда

$$\Delta\varphi_{ск} = \Omega_{вх}/K.$$

Перечисленные динамические погрешности должны быть либо одного порядка со значением основной погрешности — погрешности измерительных элементов, либо меньше ее даже в тех случаях, когда погрешность измерительных элементов исчисляется угловыми секундами.



Таким образом, суммарная погрешность всей системы  $\Delta\varphi_{\Sigma}$  может быть определена как

$$\Delta\varphi_{\Sigma} = (\sqrt{\Delta\varphi_{ст}^2 + \Delta\varphi_{дин}^2})$$

В процессе анализа и расчета суммарной погрешности возможно перераспределение значений некоторых источников погрешностей.

Приведенный анализ погрешностей применим также к регуляторам, в которых погрешность измерительных элементов является основной составляющей.

В зависимости от объекта регулирования требования к регуляторам могут быть различны. Например, в регуляторах частоты вращения двигателей необходимо учитывать малые постоянные времени звеньев, а в регуляторах температуры воздуха в помещениях объект регулирования имеет постоянную времени, намного превышающую постоянные времени других звеньев.

## 1.4 ТРЕНИРОВОЧНОЕ ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ 1.

- Охарактеризуйте основные области и способы применения ЭМС.
- Приведите и охарактеризуйте структуру, конструкцию и функции робота.
- Назначение и основные типы сочленений роботов.
- Нормальные и специальные сочленения. Функции, обозначения.
- Сложные сочленения. Функции, обозначения.
- Степени свободы манипулятора.
- Описание кинематики манипулятора с помощью теории графов.
- Механизмы перемещения в плоскости с разомкнутой цепью.
- Механизмы перемещения в плоскости с замкнутой цепью.
- Механизмы поступательного перемещения в пространстве.
- Механизмы вращательного перемещения в пространстве.
- Обобщенная структурная схема ЭМС. Общие принципы построения и функционирования.
- Основные классификационные признаки ЭМС по их построению.
- Основные классификационные признаки ЭМС по их назначению.
- Системы позиционирования. Обобщенная структура. Общий алгоритм функционирования.

- Основные особенности построения и функционирования двухконтурной СП.
- Основные особенности построения и функционирования ЦСП.
- Основные источники погрешностей ЭМС. Определение суммарной погрешности.

## **2. ЭЛЕМЕНТЫ ЭМС.**

### **2.1 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

#### **2.1.1 Разновидности исполнительных элементов**

Для отработки сигнала рассогласования в следящих системах и регуляторах в качестве исполнительных элементов применяются двух- и трехфазные двигатели переменного тока, двигатели постоянного тока, шаговые двигатели и механизмы, пневматические и гидравлические исполнительные устройства.

В следящих системах малой мощности до 10—25 Вт наибольшее распространение получили двухфазные асинхронные двигатели переменного тока, обладающие простотой управления, повышенной надежностью. Трехфазные двигатели переменного тока и двигатели постоянного тока как параллельного, так и последовательного возбуждения применяются в тех случаях, когда требуются большие мощности. Для управления с нерегулируемыми приводными двигателями применяются исполнительные муфты. Развитие импульсной и цифровой техники привело к разработке и применению шаговых двигателей и механизмов, которые могут выполнять одновременно роль счетчика импульсов, т.е. измерительного устройства. В следящих системах находят широкое применение и комбинированные исполнительные элементы. К ним относятся двигатели-генераторы, двигатели-сельсины, двигатели с демпфером и другие исполнительные механизмы.

В последние годы разрабатываются бесконтактные (вентильные) двигатели постоянного тока, тихоходные электродвигатели переменного тока, построенные на принципах электромагнитной редукции, электрические машины с катящимся ротором и т.д.

В пособии рассматриваются основные характеристики исполнительных элементов, вопросы их выбора при проектировании ЭМС, методы и схемы управления ими.

#### **2.1.2 Двухфазные индукционные двигатели**

Двухфазные индукционные двигатели обладают рядом преимуществ по сравнению с двигателями постоянного тока. К этим преимуществам относятся бесконтактность, меньший

момент инерции ротора и малая постоянная времени, удобство управления и возможность регулирования частоты вращения в больших пределах. К недостаткам этих двигателей относятся большие габариты и меньший КПД. Статор и внутренний магнитопровод асинхронного двигателя выполняются в виде пакетов, набранных из отдельных штампованных листов электротехнической стали, изолированных друг от друга с целью уменьшения потерь от вихревых токов. Листы статора имеют пазы для размещения обмоток. Ротор представляет собой алюминиевый тонкостенный полый цилиндр, который вращается между внешним и внутренним магнитопроводами. Созданы двухфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Принцип действия двухфазных индукционных двигателей с полым ротором основан на взаимодействии эллиптического (в частном случае кругового) электромагнитного поля, создаваемого обмотками статора, с вихревыми токами, наводимыми этим полем в роторе. В результате такого взаимодействия на валу двигателя возникает электромагнитный момент, создающий вращение ротора. Этот момент пропорционален произведению магнитных потоков возбуждения и управления или при ненасыщенном магнитопроводе двигателя — произведению напряжений возбуждения  $U_v$  и управления  $U_y$  и синусу угла сдвига фаз между ними  $\gamma$ :

$$M = k U_v U_y \sin \gamma,$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности.

Так как напряжение возбуждения неизменно, то при угле сдвига фаз  $\gamma = 90^\circ$  пусковой момент прямо пропорционален напряжению управления (рис. 2.1):

$$M_n = C_m U_y,$$

где  $C_m$  — коэффициент пропорциональности между пусковым моментом и напряжением на обмотке управления.

Эта зависимость называется нагрузочной характеристикой.

При вращении полого ротора в нем наводится ЭДС, пропорциональная частоте вращения, вследствие чего на роторе возникает тормозной момент, снижающий момент двигателя. При этом вращающий момент двигателя определяется выражением

$$M_{вр} = M_n - b_{дв} \Omega.$$

где  $b_{дв}$  — коэффициент электродинамического торможения двигателя;  $\Omega$  — частота вращения ротора.

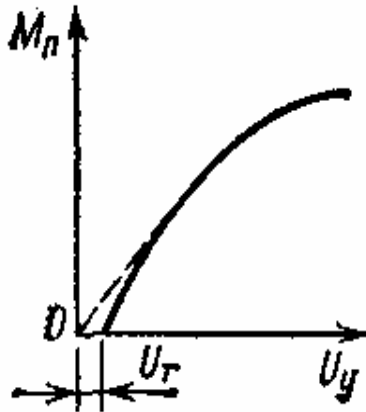


Рис. 2.1

Механическая характеристика индукционного двигателя имеет вид, представленный на рис. 2.2. Эта характеристика также нелинейна. Линеаризацию характеристики при расчетах обычно делают на участке, соответствующем рабочему режиму двигателя.

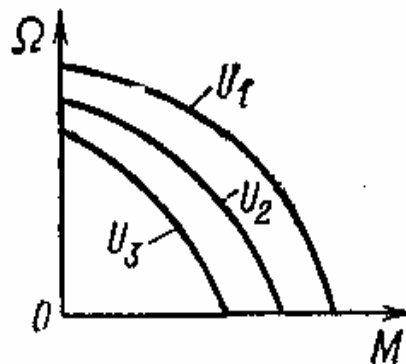


Рис. 2.2

При расчете следящих систем используются также и характеристики холостого хода  $\Omega=f(U_y)$  (рис. 2.3).

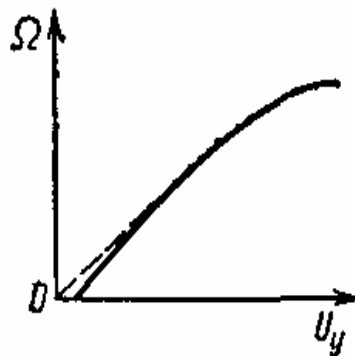


Рис. 2.3

На участке малых значений  $U_y$ , причиной нелинейности является момент трения в подшипниках, а при больших значениях  $U_y$  значение частоты вращения асинхронного двигателя стремится к значению синхронной частоты вращения, равной  $\Omega_c = f/p$ , где  $f$  — частота питающего напряжения, Гц;  $p$  — число пар полюсов.

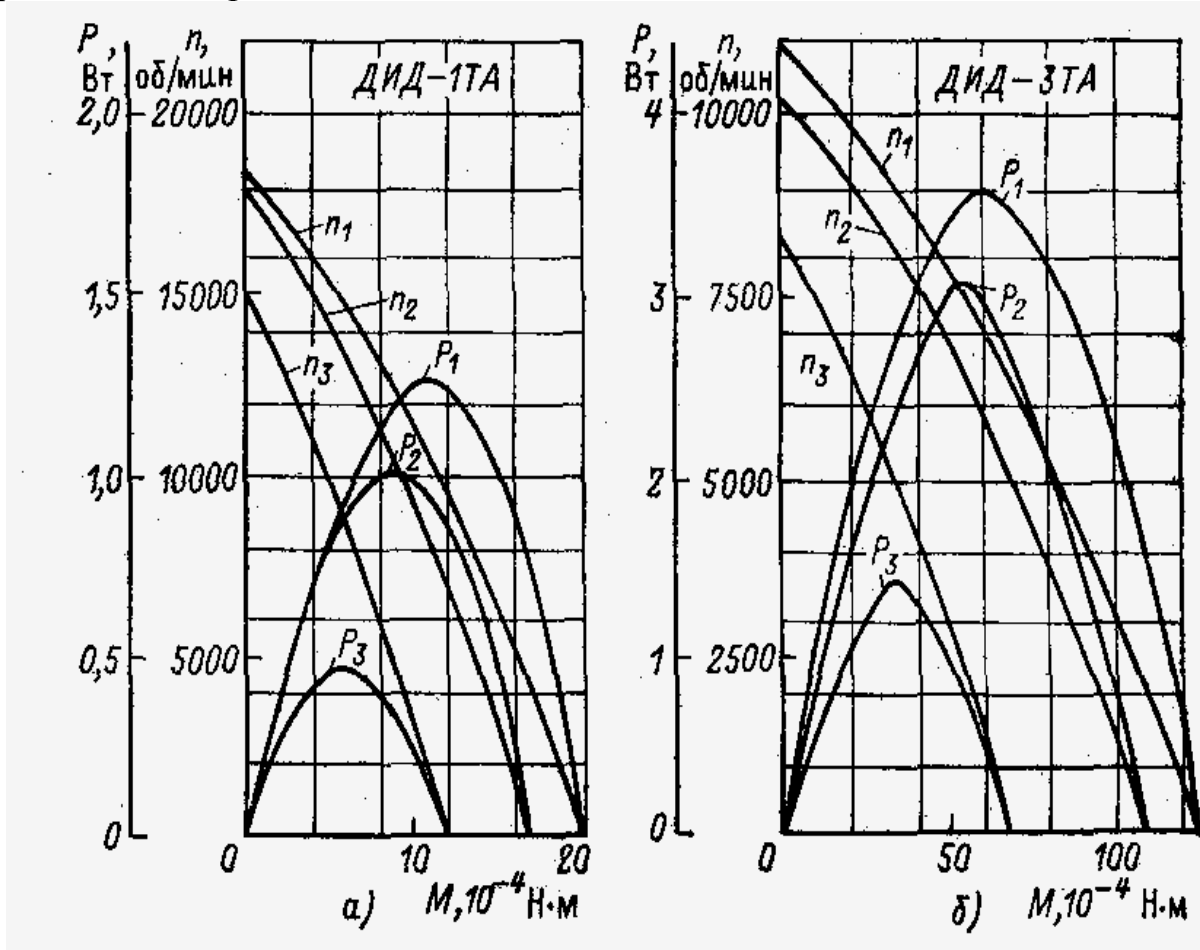


Рис. 2.4

Для уменьшения значения синхронной частоты вращения с целью увеличения срока службы двигателей, ограниченного в основном сроком службы подшипников, число пар полюсов  $p$  берут равным 2, 3 и т.д. Частота вращения ротора асинхронного двигателя всегда меньше значения синхронной частоты  $\Omega_c$ , так как при равенстве этих частот вращения магнитное поле было бы неподвижно по отношению к ротору и на нем не наводились бы токи, создающие вращающий момент при взаимодействии с электромагнитным полем.

Из характеристик  $M=f(U_y)$  и  $\Omega=f(U_y)$  определяются коэффициенты  $C_m=dM/dU_y$ ,  $C_\Omega=d\Omega/dU_y$  и коэффициент  $\text{вдв} = dM/dQ$ .

На рис. 2.4 в качестве примеров представлены характеристики некоторых двигателей типа ДИД при  $U_e=36 \text{ В}; f=400 \text{ Гц}; U_{y1}=36 \text{ В}; U_{y2}=30 \text{ В}; U_{y3}=20 \text{ В}$ .

Коэффициент полезного действия индукционных двигателей с полым ротором сравнительно низкий и находится в пределах 0,05—0,15.

Возможны различные способы управления двухфазными асинхронными двигателями. Наиболее распространенным способом является регулирование частоты вращения путем изменения напряжения на обмотке управления при сдвиге фаз между напряжениями возбуждения и управления, равном электрическому углу  $90^\circ$ . При неизменных величинах напряжения возбуждения  $U_e$  и управления  $U_y$  переменным параметром может быть разность фаз между указанными напряжениями. Однако этот метод является неэкономичным из-за того, что обмотки возбуждения и управления непрерывно находятся под напряжением. В этом смысле представляет интерес метод, при котором происходит одновременное изменение сдвинутых по фазе на  $90^\circ$  напряжений возбуждения и управления. При условии  $U_e=U_y$  пусковой момент пропорционален квадрату напряжения:  $M_n=C_m U^2$

Нелинейность этой характеристики должна учитываться при проектировании следящей системы.

### 2.1.3 Двигатели постоянного тока с независимым возбуждением

Из двигателей постоянного тока в следящих системах применяются в основном двигатели с независимым возбуждением, схема которых приведена на рис. 2.5, а. Для определения механической характеристики двигателя

$$\Omega=f(M) \quad (\text{рис. 2,5, б}) \text{ используется зависимость} \\ U=I_y R_y + E. \quad (2.1)$$

ПротивоЭДС  $E$  пропорциональна потоку возбуждения  $\Phi$  и частоте вращения якоря  $\Omega$ :

$$E = C_1 \Omega \Phi, \quad (2.2)$$

где  $C_1$  — конструктивная постоянная.

Из выражений (2.1) и (2.2) можно получить

$$\Omega = (U - I_y R_y) / (C_1 \Phi) \quad (2.3)$$

Вращающий момент  $M_{вр}$  двигателя пропорционален току якоря и потоку возбуждения:

$$M_{вр} = C_2 I_y \Phi, \quad (2.4)$$

где  $C_2$ ; — коэффициент пропорциональности.

Подставив значение тока  $I_{я}$  из выражения (2.4) в (2.3), получим

$$\Omega = U/C_1 \Phi - R_{я}M/C_1 C_2 \Phi^2.$$

Поток  $\Phi$  для двигателей с независимым возбуждением можно считать постоянным. Тогда

$$C_{\Omega} = 1/C_1 \Phi; \quad C_M = C_2 \Phi/R_{я}.$$

При этом

$$\Omega = C_{\Omega} U - M C_{\Omega} / C_M,$$

или

$$M = C_M U - C_M \Omega / C_{\Omega}. \quad (2.5)$$

Из (2.5) следует, что механические характеристики для различных значений напряжения представляют собой прямые линии (см. рис. 2.5,б).

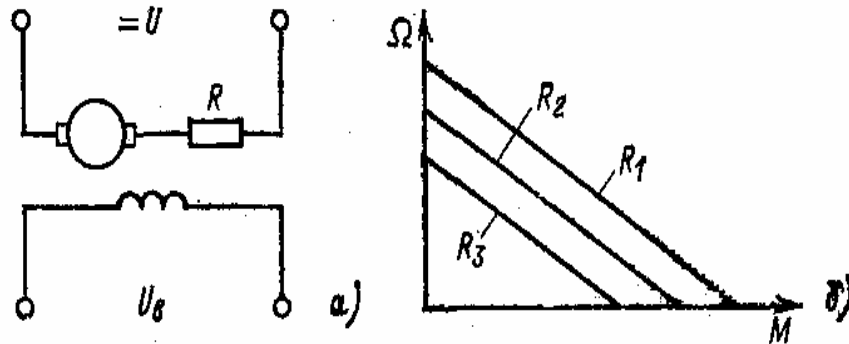


Рис. 2.5

При отсутствии нагрузки на валу  $M=0$ ,  $\Omega = \Omega_{xx} = C_{\Omega} U$ .

В момент пуска двигателя  $\Omega=0$ . Тогда  $M_{ep} = M_n = C_M U$ .

Из этого же выражения можно определить при  $M_{ep} = M_n = const$  зависимость  $U = f(\Omega)$ , т.е.

$$U = M / C_M + \Omega / C_{\Omega}.$$

Отсюда при  $\Omega=0$

$$U = U_{тр} = M / C_M.$$

Возможны различные методы управления частотой вращения двигателя постоянного тока. Сюда относятся: включение внешнего сопротивления последовательно с сопротивлением якоря, а затем вывод этого сопротивления по мере разгона; шунтирование якоря двигателя постоянного тока при наличии последовательно включенного сопротивления в цепь якоря; шунтирование обмотки возбуждения; изменение напряжения на якоре двигателя или напряжения возбуждения. При управлении со стороны обмотки возбуждения требуется меньше мощности усилителя, чем при управлении со стороны якоря. Когда следящая система находится в согласованном положении для ограничения тока, протекающего через неподвижный якорь,



последовательно с якорем включают балластное сопротивление. В следящих системах применяется последний метод—метод изменения напряжения. Для управления двигателями постоянного тока использовались электромашинные усилители, которые в последнее время успешно заменяются тиристорными преобразователями. Применяются различные методы импульсного управления.

#### 2.1.4 Выбор исполнительного электродвигателя

Выбор исполнительного двигателя прежде всего обуславливается требованиями необходимой мощности для преодоления сопротивления заданной нагрузки на валу при расчетных значениях скорости и ускорения входной оси. Кроме того, должны быть удовлетворены эксплуатационные требования. Применение двигателей с малым запасом мощности при изменении параметров системы в реальных условиях эксплуатации может привести к увеличению ошибки следящей системы. Увеличение же запаса мощности приводит к увеличению мощности усилителя, габаритов, массы всей аппаратуры.

В маломощных следящих системах (10—50 Вт) момент инерции редуктора становится соизмеримым с моментом инерции ротора двигателя, а момент инерции нагрузки в большинстве случаев является пренебрежимо малым по сравнению с суммарным моментом инерции редуктора и ротора двигателя. По этой причине проблема оптимального передаточного числа редуктора теряет здесь смысл и условием получения наибольшего ускорения является максимум величины

$$M_{дв} / I_{дв}.$$

Мощность на валу двигателя  $P$  определяется как .

$$P = M_n n_{max} / \eta$$

где  $M_n$  — момент нагрузки, Н-м;  $n_{max}$  — максимальная частота вращения выходного вала, рад/с;  $\eta$  — КПД редуктора, который зависит от типа передач, числа пар зубчатых колес.

Предварительно значение КПД редуктора можно взять равным 0,7—0,8. После определения передаточного числа редуктора целесообразно уточнить значение КПД, определив число зубчатых пар

$$i = i_1, i_2, \dots, i_n,$$

где  $i_1, i_2, \dots, i_n$  — передаточные числа каждой зубчатой пары.

Например, КПД для цилиндрической пары зубчатого редуктора равен  $\eta = 0,96—0,98$ . Отсюда  $\eta = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n$ .

Поскольку значения моментов трения нагрузки, инерции ротора двигателя, редуктора и приведенного момента инерции нагрузки приближены, а параметры двигателя при колебаниях температуры окружающей среды изменяются, необходимо иметь запас мощности примерно в 2—3 раза.

По каталогам с учетом других эксплуатационных требований выбирается тип двигателя, для которого определяются основные характеристики, необходимые для расчета следящей системы и регулятора.

Далее определяется передаточное число редуктора, связывающего вал двигателя с выходным валом нагрузки, как отношение номинальной угловой частоты вращения  $n_{ном}$  выбранного двигателя к требуемой максимальной частоте вращения выходного вала  $n_{max}$ :

$$i = n_{ном} / n_{max}$$

В общем случае передаточное число редуктора  $i$  может быть выбрано с учетом эксплуатационных требований на систему.

Зная передаточное число редуктора, целесообразно сделать поверочный расчет мощности двигателя с учетом момента инерции ротора двигателя, момента инерции редуктора и нагрузки, приведенных к валу двигателя.

Известно, что приведенный к валу двигателя момент инерции нагрузки равен  $J_{н.пр} = J_n / i^2$ , а редуктора

$$J_{ред.пр} = J_{ш1} / i_1^2 + J_{ш2} / (i_1^2 i_2^2) + \dots$$

где  $J_{ш1}, J_{ш2}, \dots$  — моменты инерции зубчатых колес;  $i_1, i_2, \dots$  — передаточные числа зубчатых пар. Суммарный приведенный момент инерции

$$J_{пр} = J_p + J_{ред.пр} + J_{н.пр}$$

$$\text{Момент инерции на выходном валу } J = J_p^1 i^2 + J_n,$$

где  $J_p^1$  — момент инерции ротора двигателя с учетом момента инерции редуктора.

Тогда максимальный момент, действующий на валу нагрузки

$M_{max}$ , равен

$$M_{max} = J a + M_n, \quad (2.6)$$

где  $a$  — максимальное ускорение на выходном валу.

Приведенный к валу двигателя максимальный момент нагрузки  $M_{max.пр}$  равен:

$$M_{таx.пр} = (J_n / i^2 + J_{дв.}) a i + M_n / i \eta.$$

Для определения оптимального передаточного отношения редуктора  $i_{opt}$  необходимо взять производную по  $i$  от функции

$$M_{max} \quad \text{и решить уравнение вида} \quad dM_{max} / di = 0:$$

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{M_n + J_n a \eta}{J_n a \eta}}$$

При этом максимальная мощность на валу двигателя будет равна

$$P = M_{max} n_{max} / \eta . \quad (2.7)$$

Мощность, вычисленная по этой формуле, дает завышенное значение, так как ускорение и скорость имеют максимумы в разные моменты времени.

### 2.1.5 Передаточные функции исполнительных двигателей

Для определения передаточной функции двигателя напомним равенство моментов на выходной оси:

$$M_{вр} = M_d + M_c . \quad (2.8)$$

где  $M_{вр}$  — вращающий момент двигателя, приведенный к выходной оси;  $M_d$  — динамический момент, приведенный к выходной оси;  $M_c$  — момент сопротивления на выходной оси.

Зависимость вращающего момента двигателя от скорости может быть выражена соотношением

$$M_{вр} = M_\Omega - b d\beta / dt, \quad (2.9)$$

Здесь  $M_\Omega$  — пусковой момент двигателя, приведенный к выходной оси;

$$b = b_{дв} i^2, \quad (2.10)$$

где  $b_{дв}$  — коэффициент электродинамического торможения двигателя;  $\beta$  — угол поворота выходной оси.

Приведенный пусковой момент двигателя

$$M_\Omega = k_m U_y; \quad (2.11)$$

здесь  $U_y$  — напряжение управления;

$$k_m = C_m i \quad (2.12)$$

Таким образом, приведенный к выходной оси вращающий момент двигателя с учетом (2.10)—(2.12) будет равен

$$M_{вр} = C_m i U_y - b_{дв} i^2 d\beta / dt \quad (2.13)$$

Динамический момент на выходной оси определяется из выражения

$$M_d = I d^2\beta / dt^2 \quad (2.14)$$

где  $I = I_{дв} i^2 \eta + I_n + I_{ред}$  — приведенный момент инерции двигателя  $I_{дв}$ , момент инерции нагрузки  $I_n$  и момент инерции редуктора.

Момент нагрузки на выходном валу двигателя в общем случае является случайной функцией.

Точное определение возможно лишь на основе статистической обработки результатов многих измерений типовых нагрузок в реальных условиях работы системы. Конструктивный расчет даже статической нагрузки носит приближенный характер, так как ожидаемый, например, момент трения зависит от качества и состава материалов, от качества обработки, условий сборки, температурных условий, режима работы и т.п.

В общем случае могут иметь место моменты сопротивления, зависящие от угла поворота двигателя. К таким моментам относятся момент сухого трения, момент вязкого трения, моменты, зависящие от условий работы следящей системы, и т.д. В зависимости от значимости этих нагрузочных моментов сопротивлений ведется их учет при расчете следящих систем. При проектировании маломощных следящих систем обычно стремятся свести к минимуму влияние момента сопротивления путем выбора соответствующей мощности двигателя и передаточного отношения редуктора.

Тогда для случая  $M_c=0$ , подставив в (2.8) выражения (2.13) и (2.14), получаем

$$k_M U_y - b \, d\beta / dt = J d^2\beta / dt^2$$

или

$$b(T_{дв} \, d^2\beta / dt^2 + d\beta / dt) = k_M U_y$$

Обозначив  $d/dt=p$ , будем иметь

$$bp (T_{дв} p+1) \beta = k_M U_y.$$

Таким образом, передаточная функция двигателя по углу

$$W_{дв}(P) = \beta(p) / U_y(p) = k_M / (bp(T_{дв} p + 1)). \quad (2.15)$$

где  $T_{дв}$  — постоянная времени двигателя:

Можно показать, что передаточная функция двигателя по углу с учетом значения коэффициента  $b$  будет

$$W_{дв}(P) = k_\Omega / p(T_{дв} p+1).$$

Передаточная функция двигателя по частоте вращения

$$\Omega = p \beta \quad \text{имеет вид}$$

$$W_{дв}(P) = \Omega(p) / U_y(p) = k_\Omega / (T_{дв} p + 1).$$

Это выражение получено без учета электрической постоянной времени обмотки управления. Ввиду малости этой величины в двухфазных индукционных двигателях ею пренебрегают.

При использовании в качестве исполнительного устройства двигателей постоянного тока электрическую постоянную времени необходимо учитывать.

Передаточная функция двигателя постоянного тока по частоте вращения  $\Omega$  при управлении им со стороны якоря равна

$$W_{дв}(P) = k_{\Omega} / (T_n T_{дв} p^2 + T_{дв} p + 1)$$

где  $T_n i = L_{я} / R_{я}$ —электромагнитная постоянная времени цепи якоря.

### 2.1.6 Шаговые электродвигатели

В связи с развитием цифровой вычислительной техники возникла задача программного управления дискретного действия. Применение шаговых двигателей позволяет преобразовать управляющие импульсы в фиксированный угол поворота вала без датчика обратной связи. При этом шаговые электродвигатели (ШЭД) выполняют роль как измерительного, так и исполнительного устройства. Системы с ШЭД являются разомкнутыми, и потеря импульса приводит к невозвратимой ошибке. Шаговые двигатели применяются также в качестве только исполнительного устройства в замкнутых системах передачи информации.

Существует большое разнообразие ШЭД, отличающихся принципом действия, конструкцией, способом управления и т.д. Упрощенная классификация этих двигателей приведена на рис. 2.6.

Реверсивные шаговые двигатели клапанного типа— шаговые механизмы. В качестве примера рассмотрим реверсивный шаговый механизм типа РШМ-6. При подаче импульса постоянного тока на одну из его двух обмоток якорь притягивается к электромагниту и при помощи собачки поворачивает зубчатое колесо, установленное на выходном валу, на одно зубцовое деление. После прекращения подачи импульса якорь возвращается в исходное положение, а выходной вал запирается фиксирующими собачками. Для получения реверса импульсы тока подаются на другую обмотку. При этом выходной вал шагового механизма поворачивается аналогичным образом в другом направлении.

Преимуществами РШМ клапанного типа являются простота управления и фиксация оси в обесточенном состоянии механизма.

К недостаткам следует отнести сложность конструкции механизма толкающих и фиксирующих собачек и малое быстродействие, т.е. частоту импульсов, при которых РШМ работает без пропуска импульсов.

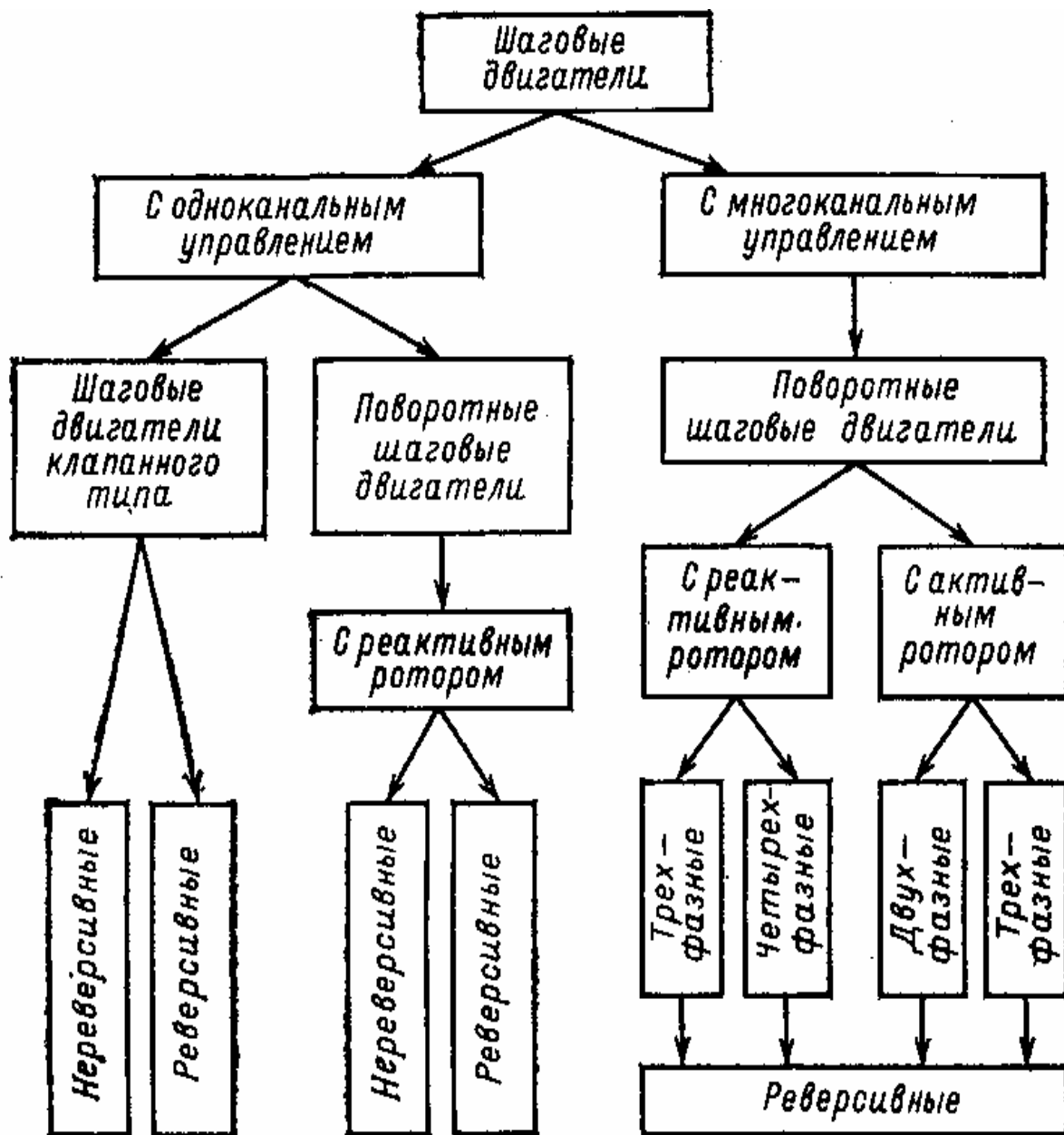


Рис. 2.6

**Основные характеристики РШМ-6**

|                                                                 |                      |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Напряжение питания, В .....                                     | 27                   |
| Шаг ротора, угл. град .....                                     | 7,2                  |
| Номинальный момент на валу $M_{ном}$ , Н-м .....                | $1 \cdot 10^{-2}$    |
| Номинальный момент инерции $J_{ном}$ , Н-м-с <sup>2</sup> ..... | $1,75 \cdot 10^{-6}$ |

Частота импульсов, Гц ..... Не более 30,

**Одноканальный реверсивный шаговый двигатель с реактивным ротором.** Статор одноканальных реверсивных ШД имеет явнополюсную систему с сосредоточенными обмотками, а ротор имеет зубцы. Двигатели выполняются с различным полюсным делением на роторе и статоре.

Рассмотрим принцип работы двигателя, имеющего шесть полюсов на статоре и восемь зубцов на роторе. На рис. 2.7 показано взаимное расположение зубцов ротора и статора в исходном положении.

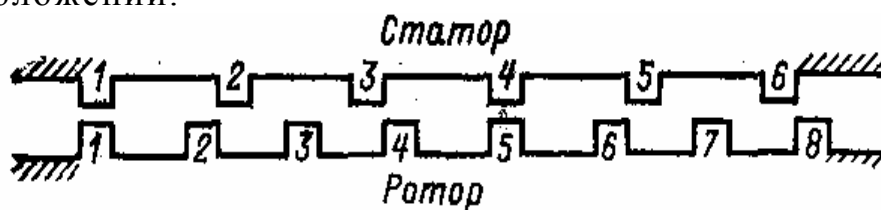


Рис. 2.7

На рис. 2.8 приведена схема включения обмоток статора. На каждом полюсе статора расположены по две обмотки, обозначенные одинаковыми цифрами. Обмотки со штрихами в обозначении используются при изменении направления вращения двигателя.

В момент включения ШД на обмотки 1, 4 подается постоянное напряжение, при этом ротор занимает исходное положение. При подаче управляющего импульса, например, на зажим IV, подключаются обмотки 3', 6', 5', 2'. Одновременно напряжение подается на обмотки 1', 4', которые включены встречно обмоткам 1, 4. Происходит размагничивание полюсов статора 1, 4. Благодаря наличию конденсатора  $C_2$  и из-за малого сопротивления обмоток 5', 2' нарастание тока в обмотках 5', 2' происходит быстрее, чем в обмотках 3', 6', поэтому ротор устанавливается таким образом, что его полюса 2, 6 станут под полюсами 2, 5 статора. Когда конденсатор зарядится, МДС обмоток 6', 3' приблизительно будет вдвое больше МДС обмоток 2', 5', ротор повернется и займет новое положение. При этом полюсы 3, 7 станут под полюсами 3, 6- статора. После снятия управляющего импульса обмотки 2', 5', 3, 6 и 1', 4' обесточиваются и ротор займет исходное положение, т.е. полюсы ротора 8, 4 устанавливаются под полюсами 1, 4 статора. При реверсе управляющие импульсы подаются на зажим ///. Емкости  $C_1$ ,  $C_2$  схемы управления зависят от значения и характера нагрузки.

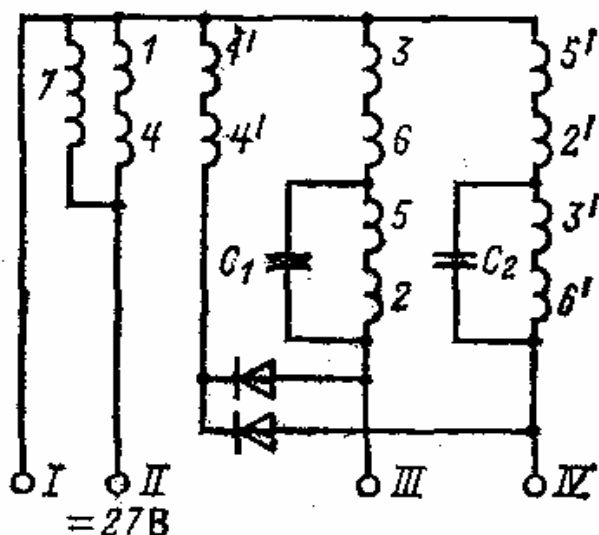


Рис. 2.8

Достоинством одноканального ШД является простота схемы управления.

Недостатками являются сравнительно большой шаг и невысокая приемистость порядка 100—150 Гц, большое потребление энергии из-за постоянно включенных обмоток, отсутствие фиксации положения ротора при обесточенных обмотках.

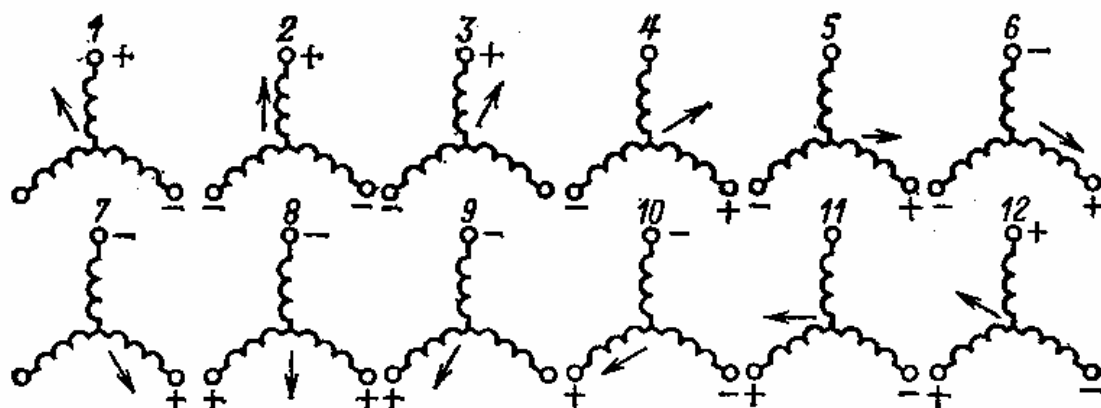


Рис. 2.9

**Трехфазный реверсивный шаговый двигатель с активным ротором.** Трехфазный ШЭД с активным ротором представляет собой модифицированный синхронный двигатель. Статор такого двигателя выполнен в виде шихтованного пакета с распределенной двухслойной обмоткой, соединенной в звезду. Ротор двигателя—двухполюсный, изготовлен из магнитотвердого сплава. С целью улучшения формы кривой статического синхронизирующего момента пакет статора выполнен со скосом пазов на одно зубцовое деление, а обмотки—с дробным числом пазов на полюс и фазу.



Шаговый двигатель питается знакопеременными импульсами и работает следующим образом. Ротор устанавливается вдоль оси результирующей МДС. Дискретно перемещающееся поле получается путем поочередного переключения обмоток статора. Порядок коммутации обмоток и направление результирующей МДС статора показаны на рис. 2.9.

Шаг двигателя равен  $30^\circ$ . Реверс двигателя обеспечивается изменением очередности коммутации обмоток;

Шаговые двигатели с активным ротором имеют сравнительно большой шаг и обладают невысокой приемистостью (до 300 Гц). Для управления ШЭД с активным ротором требуется сложная схема управления (на ШЭД подаются знакопеременные импульсы напряжения). К достоинствам таких двигателей следует отнести то, что они обладают внутренней магнитной фиксацией при обесточенных обмотках управления (фиксация обеспечивается магнитным потоком ротора, когда пакет статора не имеет скоса пазов).

**Четырехфазный реверсивный шаговый двигатель с реактивным ротором.** Шаговые двигатели с реактивным ротором имеют ферромагнитные зубчатые ротор и статор. Статор четырехфазного двигателя имеет восемь полюсов с симметричными зубцами. Обмотки управления располагаются на полюсах статора. Каждая обмотка состоит из двух катушек, размещенных на диаметрально противоположных полюсах. Обмотки управления ШЭД питаются однополярными импульсами постоянного тока. В исходном положении зубцы ротора соосны только с зубцами двух диаметрально расположенных полюсов.

При каждом переключении обмоток ротор двигателя поворачивается на  $1/4$  зубцового деления. Направление вращения определяется очередностью коммутации обмоток. Для управления такими двигателями требуется сложная схема.

К достоинствам таких двигателей можно отнести высокое быстродействие. При малых шагах некоторые конструкции двигателей обладают приемистостью свыше 1000 Гц.

### **2.1.7 Вентильные двигатели**

Решение задачи повышения быстродействия и точности ЦСП разомкнутого типа с ШЭД может быть достигнуто, например, введением местной обратной связи (МОС) в ШЭД по положению ротора и режима самокоммутации. При этом ШЭД трансформируется в так называемый вентильный двигатель

(ВЭД) с дискретной коммутацией. Непрерывная коммутация ВЭД может рассматриваться как предельный случай дискретной коммутации с бесконечным коэффициентом дробления шага.

В связи с тем, что первоначальной задачей при создании ВЭД была замена коллекторного узла электродвигателя постоянного тока электронным коммутатором и создание двигателей с близкими к ним механическими и электрическими характеристиками, ВЭД называют также бесконтактными двигателями постоянного тока. Однако название ВЭД наиболее полно отражает физические процессы в нем.

Дискретный электромеханический преобразователь (ЭМП) с ВЭД работает в режиме самокоммутации обмоток управления. В отличие от пошагового управления, используемого ШЭД, где режимы разгона и торможения реализуются программами управления, предусматривающими параметрическое задание изменения скорости, самокоммутация базируется на использовании автоматического изменения скорости вращения ротора на основе информации о перемещении, поступающей по контуру местной обратной связи (МОС).

Такой способ управления придает двигателю свойство адаптации к изменению нагрузки на валу его ротора.

В дискретном электромехатронном преобразователе (ЭМП) командный сигнал, осуществляющий очередную коммутацию обмоток ВЭД, формируется в распределителе импульсов, поступающих по каналу МОС в виде импульсов с датчика положения ротора.

В дискретном ЭМП командный сигнал, осуществляющий очередную коммутацию обмоток ВЭД, формируется в распределителе импульсов поступающим по каналу МОС импульсом с датчика положения ротора. Появление этого импульса свидетельствует о том, что предыдущая команда выполнена и дискретное перемещение ротора произошло.

Основным достоинством ВЭД по сравнению с ШЭД является то, что устойчивость и качество движения ЭМП с ВЭД зависят в основном от его структуры, в то время как в разомкнутом ЭМП эти определяющие показатели целиком зависят от параметров ШЭД и объектов управления, которые поддаются изменению в ограниченных пределах.

Благодаря гибкости ВЭД удается либо расширить диапазон рабочих скоростей при позиционировании и слежении с заданной точностью, либо повысить точность позиционирования и

слежения при заданных скоростях, либо получить предельные показатели по скорости и точности.

Структурная схема дискретного ЭМП с ВЭД строится на основе структурной схемы ЭМП разомкнутого типа с ШЭД, с добавлением датчика положения ротора (ДПР) и коммутирующего устройства (КУ), предназначенного для сопряжения ДПР и ЭК.

Такая схема приведена на рис.2.10.

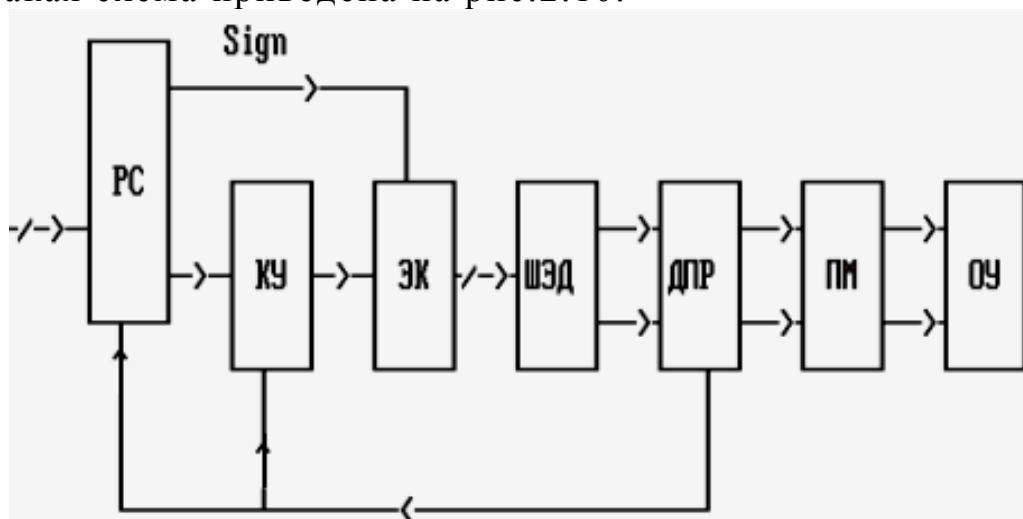


Рис.2.10

Цифровая информация, подлежащая преобразованию в перемещение, в виде параллельного кода вводится в реверсивный счетчик (РС). При наличии в нем информации КУ подключает выход ДПР ко входу ЭК, направление работы которого определяется сигналом с выхода РС, определяющим направление вращения двигателя. ВЭД начинает вращаться под действием импульсов, поступающих с ДПР. Скорость движения зависит от соотношения момента, развиваемого двигателем, и параметров нагрузки.

Путем введения опережения или отставания управляющих импульсов, поступающих от ДПР на ЭК, можно изменять угол коммутации, что обеспечивает регулирование частоты вращения ротора при разгоне и торможении.

В зависимости от типа применяемого ДПР различают варианты построения ВЭД с импульсным, потенциальным и кодовым формированием сигналов МОС, которым соответствует возрастающий уровень структурной помехоустойчивости.

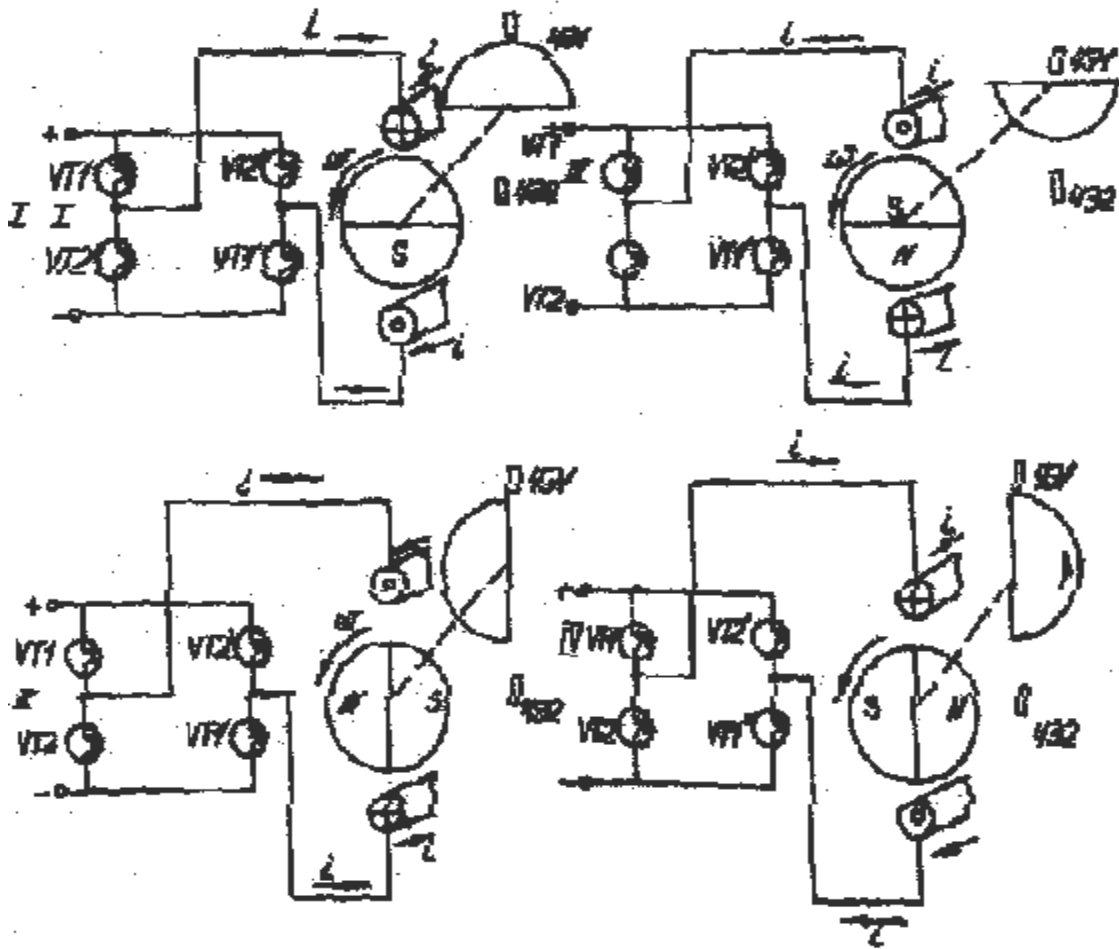


Рис. 2.11

Рассмотрим особенности работы ВЭД. Если ВЭД представить в виде упрощенной модели, содержащей неподвижную обмотку статора в виде одного витка и ротор, собранный из постоянных магнитов, то для этого двигателя характерны четыре варианта взаимного расположения магнитных осей ротора и статора (рис. 2.11):

1. Угол между магнитными осями  $\gamma = 90^\circ$  эл. Момент вращения  $M = M_{max}$ .
2. Угол между магнитными осями  $\gamma = 180^\circ$  эл. Момент вращения  $M = 0$ .
3. Угол между магнитными осями  $\gamma = 270^\circ$  эл. Момент вращения  $M = M_{max}$ .

Угол между магнитными осями  $\gamma = 360^\circ$  эл. Момент вращения  $M = 0$ .

Зависимость момента вращения  $M$  от угла  $\gamma$  показана на рис 2.12.



Рис. 2.12

Вал двигателя соединен с ДПР. ДПР состоит из двух неподвижных чувствительных элементов ЧЭ1 и ЧЭ2 и сектора, вращающегося на валу и имеющего угол  $180^\circ$ .

В зависимости от взаимного расположения чувствительных элементов и сектора включаются пары транзисторов VT1 - VT4 мостового коммутатора, питающего статорную обмотку.

В реальном ВЭД число секций увеличивают с целью уменьшения пульсаций  $M$  и исключения положений, когда момент вращения  $M = 0$ .

Двухсекционный ВЭД (рис. 2.13) можно рассматривать как два односекционных двигателя с общим ротором и со сдвигом обмоток статора на  $90^\circ$ . ДПР здесь имеет две пары чувствительных элементов, которые управляют четырьмя транзисторными парами, управляющими секциями обмоток. ВЭД обычно выполняют, как и ШЭД, с трехфазной или четырехфазной обмоткой статора, обычно со встроенным ДПР.

Не останавливаясь подробно на узлах ВЭД, общих с ШЭД, рассмотрим принцип действия ДПР и тахогенератора (ТГ), измеряющего скорость вращения ротора.

ДПР могут быть дискретного и аналогового типа. ДПР дискретной структуры выдают сигналы постоянной амплитуды, длительность которых определяется угловым размером сектора. Аналоговый ДПР выдает непрерывный сигнал обычно с периодом  $2\pi$ . Наибольшее распространение получили ДПР дискретного типа, к которым относятся гальваномагнитные, индукционные и оптические. Наиболее широко применяются оптические датчики, имеющие простую конструкцию в виде вращающегося диска с прорезями, через которые осуществляется подсветка фоточувствительных элементов; это предопределяет их высокую надежность.

Гальваномагнитные датчики вырабатывают сигналы малого уровня с малой крутизной фронтов. Однако появление переключающих микросхем со встроенными датчиками Холла (серия К1116) позволяет надеяться на их дальнейшее широкое использование.

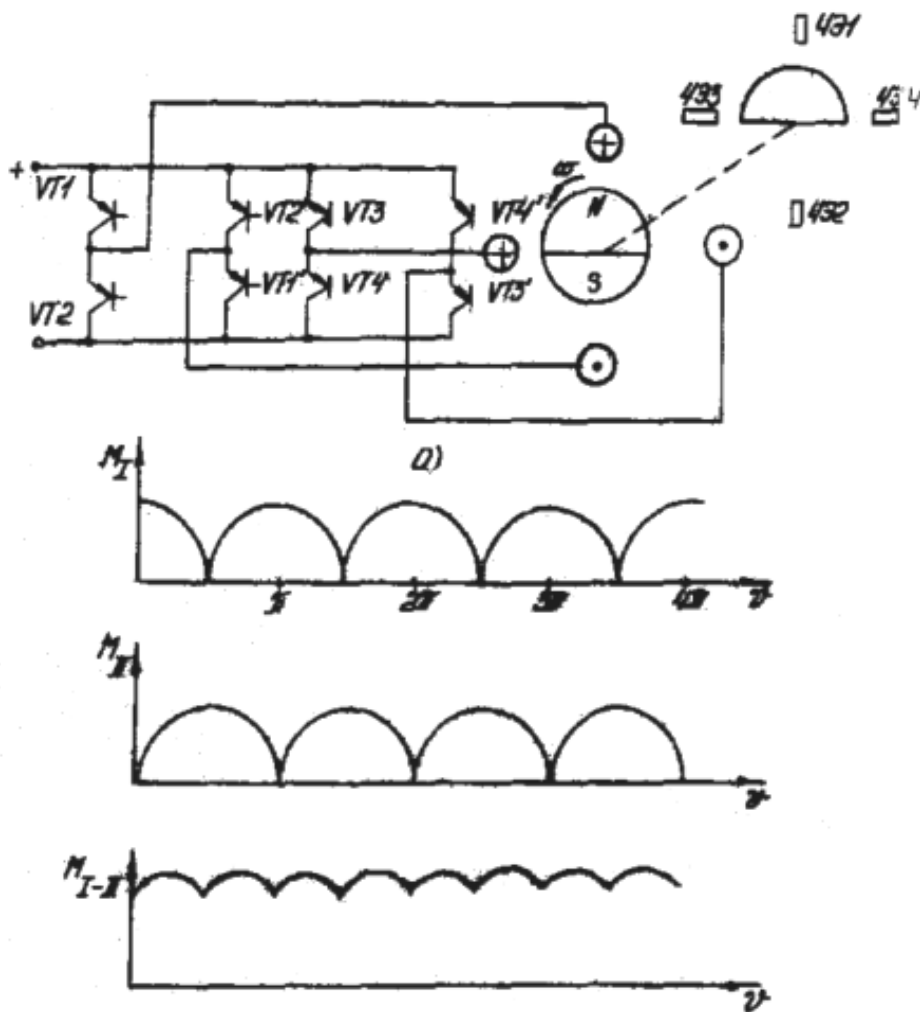


Рис. 2.13

Не останавливаясь подробно на конструкции оптического датчика, рассмотрим принцип формирования сигналов управления для трехфазного (шестиполюсного) ВЭД. При этом алгоритм управления возьмем такой, когда ток одновременно протекает через две фазы ВЭД.

Для нормального функционирования силовой части привода, необходимо на коммутирующие транзисторы подавать сигналы, длительность которых определяется частотой вращения вала двигателя, но всегда составляют  $120^\circ$  эл. Последовательность включения обмоток определяется направлением вращения.

Использование бесконтактного ТГ, построенного по принципу ВЭД, позволяет получить высокие статические и динамические характеристики широкорегулируемого электропривода с ВЭД. Такой ТГ имеет те же основные элементы, что и ВЭД, однако специфика его работы привела к тому, что в нем всего два полюса, а воздушный зазор между ротором и статором больше,

чем у ВЭД, что позволяет устранить зубцовые пульсации в кривой выходного напряжения ТГ.

Информация о скорости вращения ротора может быть получена также непосредственно от ДПР в результате дополнительного преобразования его выходных сигналов путем их дифференцирования или представлением в виде частоты следования импульсов с выхода ДПР, пропорциональной скорости вращения ротора ВЭД.

В связи с тем, что современные датчики скорости ротора (ДСР), как правило, выполняются на основе импульсных тахометров, импульсный метод формирования сигналов обратной связи получил наибольшее распространение.

При проектировании систем позиционирования с ВЭД следует учитывать, что с целью достижения максимального быстродействия в начальный момент времени, соответствующий началу отработки требуемого перемещения, ВЭД должен иметь максимальный крутящий момент с целью быстрого набора скорости, а по мере приближения выходного звена передаточного механизма, установленного на валу ВЭД, к требуемому положению, скорость вращения ВЭД должна снижаться с целью исключения возможной перекомпенсации и возникновения автоколебаний.

Как указано выше, момент вращения ВЭД может быть задан углом коммутации, причем оптимальный угол коммутации с точки зрения максимального момента зависит от скорости вращения ротора ВЭД.

При нулевой скорости вращения максимальный момент вращения ВЭД соответствует нейтральной коммутации (угол коммутации  $\phi=0^\circ$ ). Однако при возрастании скорости вращения за счет отставания тока от напряжения в индуктивной нагрузке обмоток ВЭД следует вводить опережающую коммутацию ( $\phi=45^\circ$  или  $90^\circ$ ), причем оптимальное значение  $\phi$  зависит от скорости вращения. Отработка перемещения производится на максимальной скорости до тех пор, пока значение рассогласования превышает путь, необходимый для торможения двигателя. Для торможения ротора угол коммутации  $\phi$  должен изменяться в обратной последовательности вплоть до торможения противовключением. Часто для регулировки скорости вращения ВЭД и его момента вращения используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

## 2.2 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### 2.2.1 Измерительные элементы с ограниченным диапазоном углового перемещения

В системах передачи угла, работающих в ограниченном диапазоне угла поворота входной оси, в качестве измерительных элементов применяют различные индукционные, индуктивные, емкостные и потенциометрические датчики. Следует различать датчики, преобразующие угол поворота непосредственно в напряжение, и датчики, включенные в мостовую схему, у которых при угловом или линейном перемещении подвижной части происходит изменение индуктивного, емкостного или омического сопротивлений.

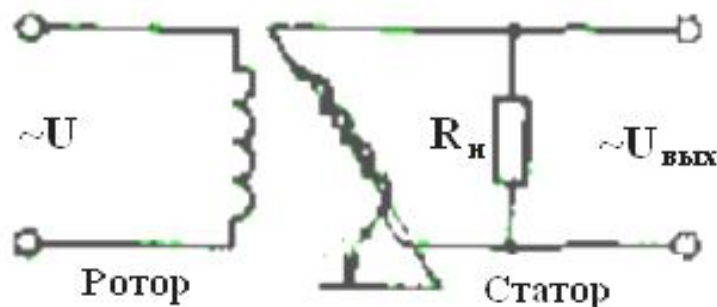


Рис.2.14

Ниже дается краткий обзор наиболее распространенных датчиков. Наибольшее применение в автоматических устройствах благодаря высоким эксплуатационным качествам находят индукционные датчики.

Из индукционных датчиков наиболее распространенными являются контактные датчики электромашинного типа, следящие трансформаторы и микросины, рамочные датчики угла.

**Контактные датчики электромашинного типа.** Контактные датчики электромашинного типа имеют одну вторичную обмотку. Ротор и статор набраны из листовой электротехнической стали и имеют пазы, в которые заложены обмотки. К первичной обмотке подается переменное напряжение  $U$  (рис.2.14). Со вторичной обмотки снимается переменное напряжение  $U_{вых}$ , амплитуда которого изменяется в функции угла поворота  $\varphi$  (выходная характеристика).

Воздушный зазор между ротором и статором имеет постоянное значение.

Ниже приведены усредненные характеристики плоского датчика угла:

Напряжение питания, В . . . , . . . , 40



Частота питающего напряжения, Гц ..... 400  
 Крутизна выходной характеристики, мВ/угл. мин, 7  
 Остаточное (нулевое) напряжение, мВ ..... 5  
 Максимальный реактивный момент датчика при  
 рассогласовании ротора на угол  $\pm 5^\circ$ , Н-м .....  $\pm 4 \cdot 10^{-6}$   
 Диапазон линейного участка характеристики датчика, угл.  
 град .. $\pm 15$

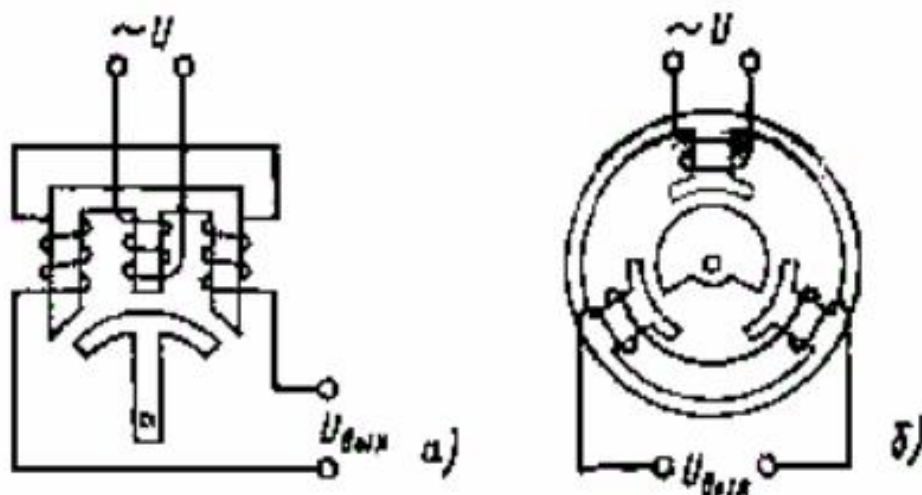


Рис. 2.15

**Следящие трансформаторы.** На рис. 2.15,а приведена схема трехстержневого следящего трансформатора. Первичная обмотка питается от сети переменного тока, а две вторичные обмотки соединены встречно. При нейтральном положении подвижного элемента ЭДС, наводимые во вторичных обмотках, одинаковы по значению, вследствие чего результирующая ЭДС на выходе равна нулю.

При повороте якоря от нейтрального положения происходит увеличение магнитного потока в одном боковом стержне датчика и уменьшение в другом. При этом равенство ЭДС нарушается и на выходе появляется разностная ЭДС, фаза которой зависит от знака рассогласования.

Отсутствие контактов, малые габариты и возможность получения большой крутизны выходной характеристики являются основными преимуществами следящего трансформатора.

Основные характеристики следящего трансформатора

Напряжение питания, В ..... 40  
 Частота питающего напряжения, Гц ..... 400  
 Крутизна выходной характеристики, мВ/угл. мин . 4,5  
 Остаточное (нулевое) напряжение, мВ ..... 7

Диапазон линейного участка характеристики, угл. град  
..... $\pm 5$

Максимальный реактивный момент датчика при  
рассогласовании на угол  $\pm 5^\circ$ , Н-м .  $3 \cdot 10^{-6}$

Трехстержневые датчики могут иметь цилиндрическое  
исполнение для удобства установки статора относительно ротора  
(рис. 2.15,б).

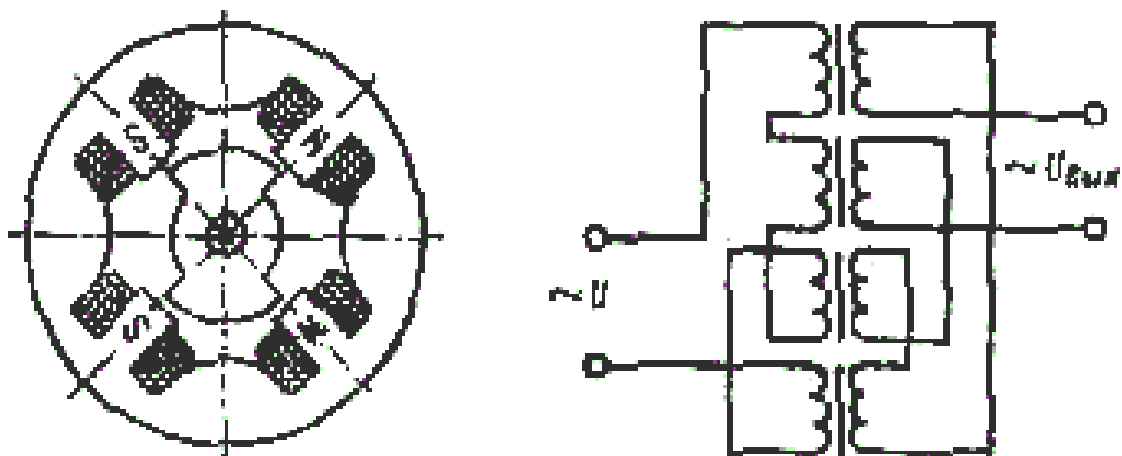


Рис. 2.16

**Микросины.** Статор микросина представляет собой симметричный четырехполюсный магнитопровод и набирается из отдельных пластин электротехнической стали (рис. 2.16). Двухполюсный ротор имеет ширину каждого полюса  $90^\circ$ . На каждом из полюсов статора расположены по две катушки — первичная и вторичная. В нулевом положении каждый полюс ротора перекрывает по половине разноименных полюсов статора. Потoki, создаваемые первичной обмоткой, наводят во всех катушках вторичной обмотки одинаковые ЭДС, если площади перекрытия ротора одинаковы. При повороте ротора из этого положения в ту или другую сторону появляется ЭДС вследствие перераспределения потоков, создаваемых катушками первичной обмотки. Фаза этой ЭДС изменяется в зависимости от направления поворота ротора, а значение пропорционально углу отклонения от нулевого положения.

Линейность выходного напряжения от угла поворота ротора зависит от точности соблюдения геометрической формы и размеров ротора и статора, равномерности зазора под полюсами статора, однородности магнитных свойств пакетов ротора и статора и равенства чисел витков обмоток.

Микросины следует применять в схемах автоматики, к которым предъявляются повышенные требования надежности.

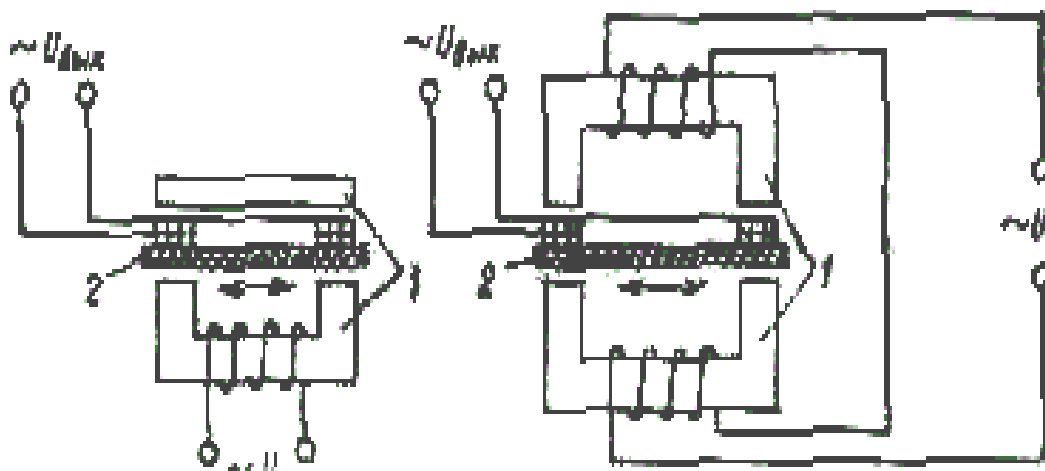


Рис. 2.17

**Рамочные датчики угла.** Рамочный датчик угла состоит из двух магнитопроводов  $I$  с обмотками возбуждения и подвижной рамки  $2$  с сигнальной обмоткой, которая размещается в воздушном зазоре между двумя магнитопроводами (рис. 2.17). Подвижная рамка представляет собой изоляционную пластинку с вклеенной в нее сигнальной обмоткой в виде кольцевой катушки. При подаче на обмотки возбуждающего напряжения  $U$  в магнитопроводе появляется пульсирующий поток, магнитные силовые линии которого оказываются сцепленными с сигнальной обмоткой. В обмотке будет наводиться ЭДС, пропорциональная потоку.

При смещении рамки от нейтрального положения поток магнитопровода сцепляется со всеми витками обмотки и в ней наводится максимальная ЭДС. При смещении рамки в противоположную сторону фаза выходного напряжения изменяется на  $180^\circ$ . Амплитуда выходного напряжения изменяется линейно. Диапазон линейного участка выходной характеристики датчика зависит от конструкции рамочного датчика. Диапазон работы датчиков, представленных на рис. 2.4, равен  $\pm (3-5)^\circ$ . Ротор рамочного датчика поворотного типа представляет собой полый цилиндр, на поверхности которого уложена сигнальная обмотка. Он расположен в зазоре между двумя магнитами.

На внешнем магнитопроводе размещается обмотка возбуждения. Внутренний магнитопровод представляет собой цилиндр, набранный из колец трансформаторной стали.

Основные характеристики цилиндрического рамочного датчика угла

Напряжение питания, В .....-,.... 40

Частота питающего напряжения, Гц ..... 400

Крутизна выходной характеристики, мВ/угл. мин . 7

Нулевое (остаточное) напряжение, мВ ..... 5

Диапазон линейного участка характеристики датчика, угл. град  $\pm 40$

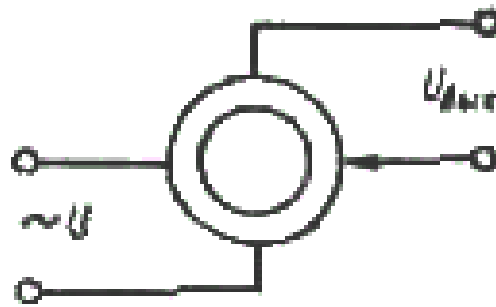


Рис. 2.18

Главными преимуществами рамочных датчиков угла являются безмоментность, меньшая чувствительность к несоосности и биению ротора по сравнению с другими датчиками. К недостаткам следует отнести наличие токопроводов и сложность технологии изготовления ротора (рамки) из изоляционного материала, поскольку он должен иметь малую толщину, обеспечивающую малый воздушный зазор между магнитопроводами.

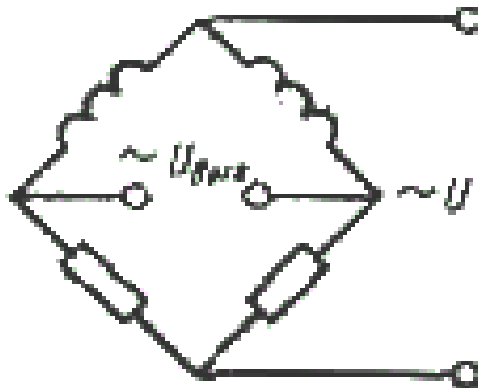


Рис. 2.19

К датчикам, преобразующим угол поворотного подвижного элемента в напряжение, можно отнести также и обычные *потенциометрические датчики* с нулевым отводом (рис. 2.18).

Емкостные, индуктивные а также *потенциометрические датчики* обычно используются как датчики угла или перемещения и включаются в мостовую схему (рис. 2.19—2.21

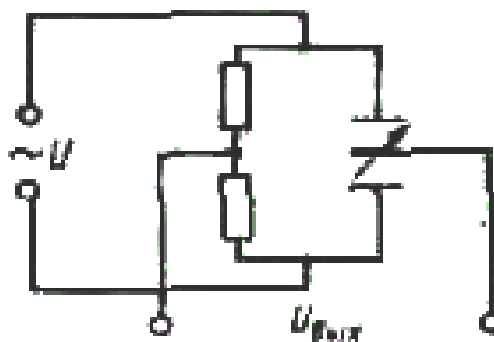


Рис. 2.20

Индуктивность и емкость в указанных датчиках изменяются в результате изменения площади перекрытия или зазора при перемещениях их подвижных элементов.

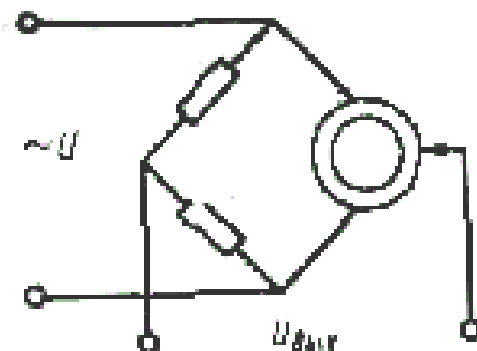


Рис. 2.21

### 2.2.2 Синусно – косинусные вращающиеся трансформаторы

Все возрастающие требования к точности систем передачи привели к использованию в них синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (ВТ) в качестве датчика и приемника.

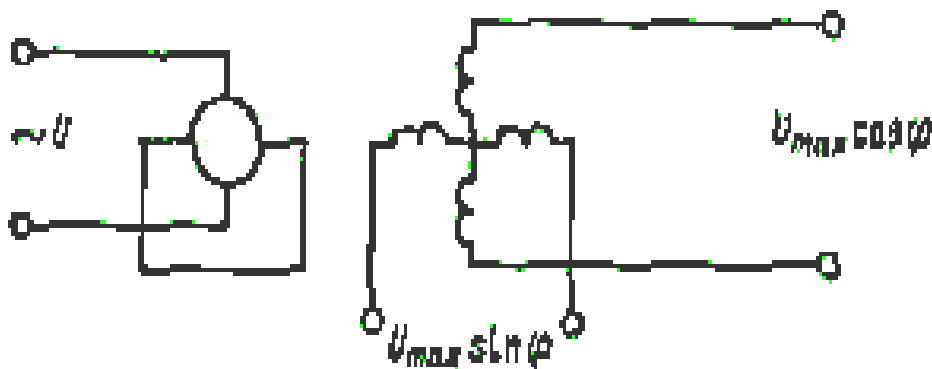


Рис. 2.22

Двухфазные ВТ разрабатывались для вычислительных устройств непрерывного действия как датчики, у которых

зависимость выходного напряжения от угла поворота имеет весьма малое отклонение от синусоидального закона. Синусно-косинусные ВТ применяются для решения широкого круга технических задач автоматики. Они используются в аналоговых вычислительных устройствах как синусно-косинусные преобразователи (рис. 2.22) координат, работающие как в трансформаторном режиме с коэффициентом трансформации  $k$ , (рис. 2.23), так и в режиме фазовращателя (рис. 2.24), в качестве фазовращателей (рис. 2.25), линейного ВТ (рис. 2.26 и 2.27), датчика угла и др. Дифференциальные сельсины с трехфазными обмотками на роторе и статоре могут быть заменены также синусно-косинусными ВТ.

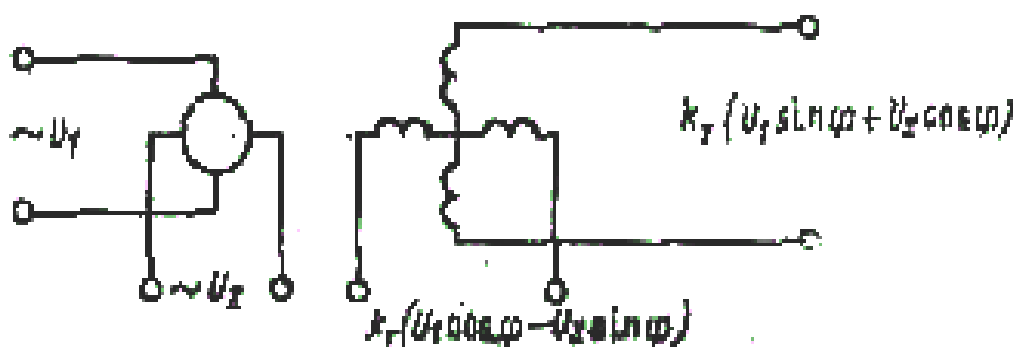


Рис. 2.23

Из перечисленных примеров видно, что с помощью синусно-косинусных ВТ можно решать широкий круг задач.

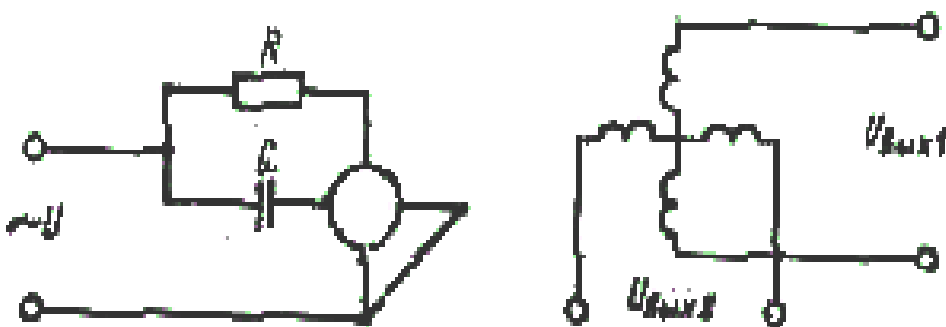


Рис. 2.24

Вращающиеся трансформаторы представляют собой электрические машины с неявно выраженными полюсами. Ротор и статор набраны из листовой электротехнической стали и имеют пазы, в которых уложены обмотки. Воздушный зазор между ротором и статором имеет постоянное значение.

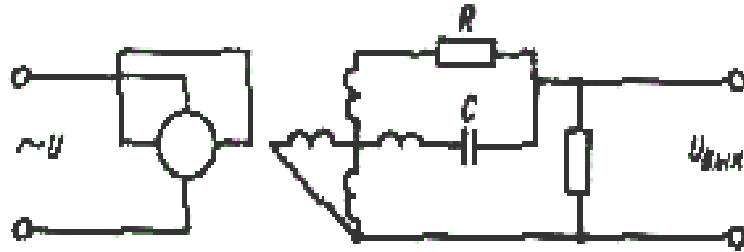


Рис. 2.25

В синусно-косинусных трансформаторах, как правило, ротор и статор имеют двухфазные взаимно перпендикулярные обмотки. При подаче, например, на одну из роторных обмоток напряжения во вторичных статорных обмотках (рис. 2.28) наводятся ЭДС  $E_2'$  и  $E_2''$ , изменяющиеся при повороте ротора в идеальном случае по синусоиде

$$E_2' = k_T U \sin\varphi;$$

$$E_2'' = k_T U \cos\varphi;$$

где  $k_m$  — коэффициент трансформации;  $\varphi$  — угол поворота относительно статора.

В действительности имеет место отклонение формы выходного напряжения от синусоидального закона, обусловленное рядом технологических и конструктивных факторов.

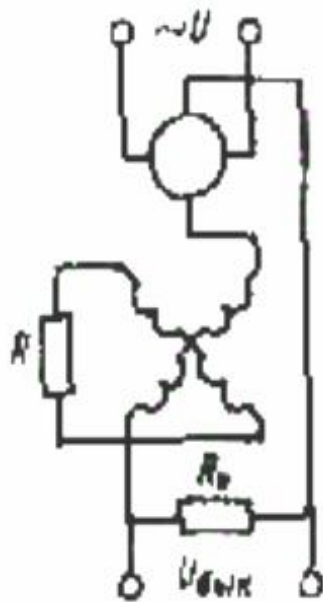


Рис. 2.26

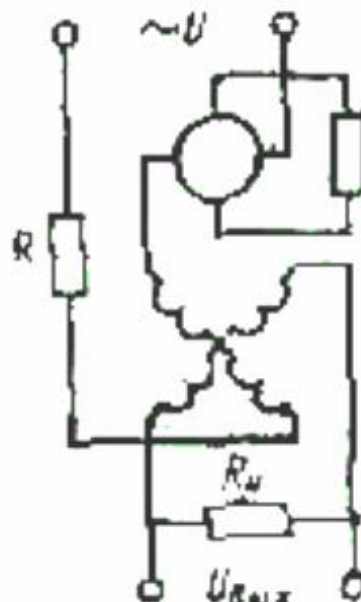


Рис. 2.27

В настоящее время существуют различные корпусные и бескорпусные двухполюсные синусно-косинусные ВТ.

Кривая погрешности дистанционной передачи угла при применении ВТ имеет в основном характер второй гармоники и в лучшем случае может быть равна  $\pm (2-3)'$ .

Такие высокие точности получены при применении прецизионной технологии изготовления пакетов ротора и статора, когда намотка их и сборка датчика осуществляется так, чтобы исключить или значительно ослабить влияние различных факторов на характеристики ВТ.

Для дальнейшего повышения точности одноканальной системы передачи угла с ВТ могут быть применены различные методы компенсации погрешности.

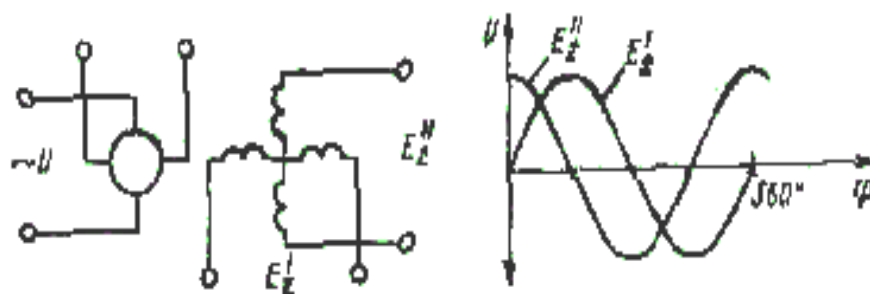


Рис. 2.28

### 2.2.3 Модификации ВТ

Существуют разновидности ВТ, отличающиеся конструктивными особенностями. К ним относятся бесконтактные ВТ, ВТ рамочного, тороидального типов и др.

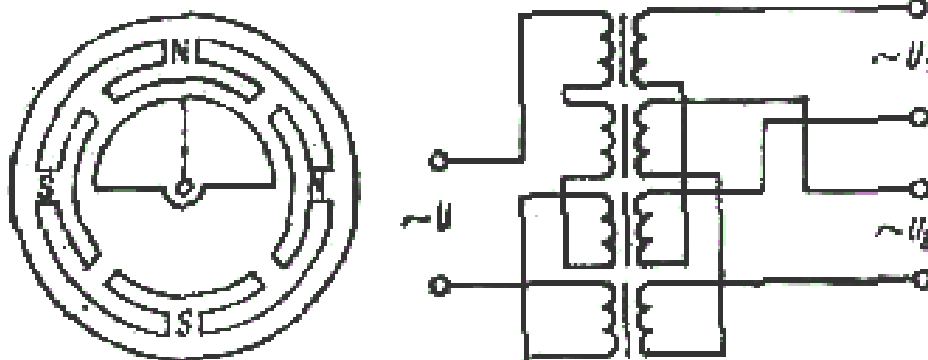


Рис. 2.29

На рис. 2.29 представлен бесконтактный ВТ, в котором как первичная, так и две вторичные обмотки расположены на пакете статора, а ротор представляет собой полудиск. Характер изменения выходного напряжения в функции угла поворота имеет вид треугольника с линейным участком  $\pm 90^\circ$ .

Такой ВТ может быть использован как линейный датчик. Относительная погрешность воспроизведения линейной зависимости выходной характеристики зависит от технологии



изготовления и сборки датчика и может быть порядка 2—3%. Такой ВТ может быть также использован в системе трансформаторной передачи угла. Погрешность передачи, естественно, будет больше, чем для ВТ обычного типа. Для этих двухполюсных ВТ погрешность передачи угла в диапазоне  $360^\circ$  может находиться в лучшем случае в пределах  $\pm(15—25)'$ . Очевидно, что такие датчики с роторами в виде диска имеют на оси прибора значительный реактивный момент, однако простота конструкции и бесконтактность являются их отличительной особенностью.

В тех случаях, когда требуется малый момент датчика ( $\leq 1 \cdot 10^{-6}$  Н м), целесообразно применение двухфазного ВТ рамочного типа.

В таких датчиках первичная обмотка расположена на пакете статора, а вторичная обмотка уложена на поверхности ротора, представляющего собой полый цилиндр из немагнитного токонепроводящего материала.

Ротор поворачивается в зазоре между пакетом статора (внешнее кольцо) и внутренним магнитопроводом, представляющим собой набранный из колец трансформаторной стали цилиндр. Форма кривой выходного напряжения датчиков, как правило, имеет большое отклонение от синусоиды.

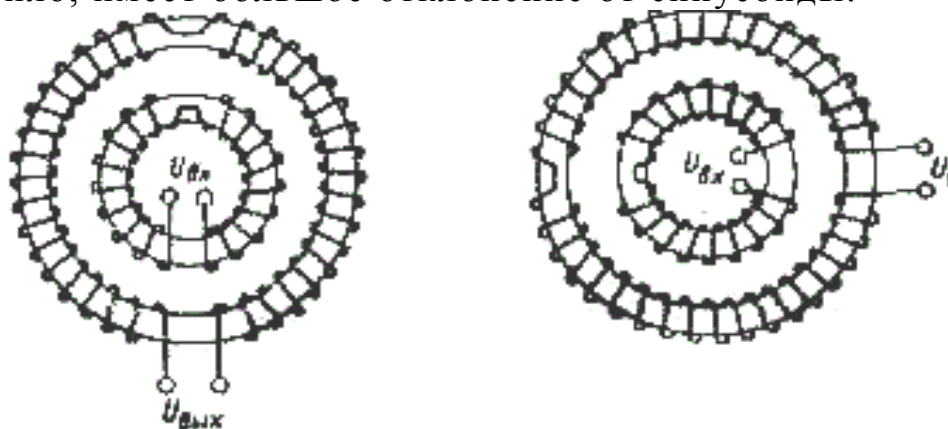


Рис. 2.30

Вращающийся трансформатор рамочного типа чувствителен к несоосности и биению. Из-за большого зазора крутизна выходного напряжения мала. Вращающиеся трансформаторы рамочного типа могут быть выполнены многополюсными.

На рис. 2.30 представлена схема синусно-косинусного ВТ тороидального типа.

Ротор и статор датчика выполнены в виде тороидов, на которых намотаны двухфазные обмотки кольцевого типа. Подобная конструкция позволяет устранить зубцовую пульсацию.

Двухфазные обмотки ротора и статора смещены относительно друг друга и намотаны слоями. Первый слой образован обмотками первой фазы, а второй — обмотками второй фазы. Датчики тороидального типа могут быть выполнены и как многополюсные, и как двухполюсные. Большой воздушный зазор и отсутствие зубцовых гармоник обеспечивают малый момент датчика.

#### 2.2.4 Линейные ВТ

Синусный ВТ при малых углах поворота ротора относительно статора может применяться в качестве линейного датчика. Если требуется, чтобы нелинейность характеристики выходного напряжения в функции угла поворота не превышала 0,1%, то угол поворота не должен превышать  $4,5^\circ$  в обе стороны от нулевого положения.

Для расширения линейного участка характеристики выходного напряжения проектируются специальные синусно-косинусные ВТ, у которых отношение ЭДС вторичной обмотки к напряжению, приложенному к первичной обмотке, равно 0,56. При этом обмотки четырехобмоточного вращающегося трансформатора включаются по схемам, приведенным на рис. 2.26 и 2.27. На рис. 2.26 представлена схема линейного ВТ со вторичным симметрированием, а на рис. 2.27—с первичным симметрированием.

В линейных ВТ выходное напряжение изменяется в функции угла поворота по закону

$$U_{\text{вых}} = f(\sin\varphi / (1 + k_T \cos\varphi)).$$

При  $k_T = 0,56$  линейность этого напряжения будет выполняться с точностью до 0,1 % в пределах углов  $\pm 37^\circ$  и с точностью 0,75 % в пределах  $\pm 60^\circ$ . Прецизионные ВТ обеспечивают большую точность.

Существуют линейные датчики типа ВТ со специальной схемой обмотки. В таких датчиках линейная зависимость выходного напряжения в функции угла поворота ротора достигается тем, что обмотки ротора и статора имеют коэффициент взаимной индукции, изменяющийся линейно в функции угла поворота ротора относительно статора. В этом

случае линейный участок характеристики датчика можно увеличить.

### 2.2.5 Сельсины

До последнего времени сельсины являются одними из распространенных элементов. Работа контактных и бесконтактных сельсинов в системах передачи угла широко освещена в литературе, поэтому в данном параграфе даются лишь краткое описание работы системы передачи угла с сельсинами и некоторые параметры малогабаритных контактных и бесконтактных сельсинов, имеющих наибольшую точность.

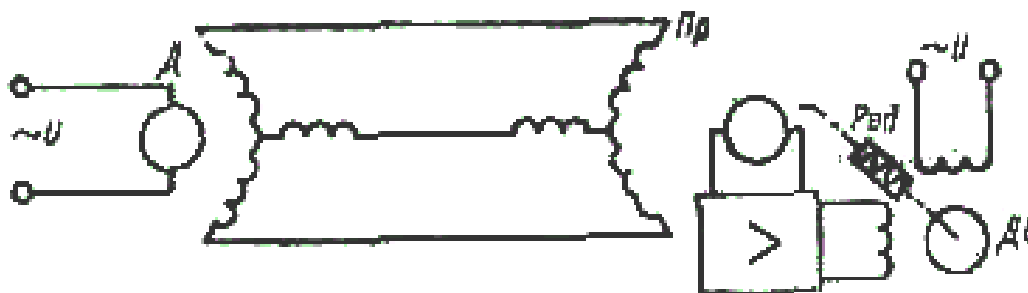


Рис. 2.31

Сельсин конструктивно представляет собой электрическую машину с однофазной обмоткой возбуждения и трехфазной вторичной обмоткой, называемой обмоткой синхронизации. В зависимости от конструкции обмотка возбуждения сельсина (однофазная) может располагаться либо на статоре, либо на роторе. В малогабаритных сельсинах ротор обычно имеет однофазную обмотку, а статор — трехфазную. В дальнейшем предполагается, что обмотка возбуждения сельсина расположена на роторе (рис. 2.31). Напряжение питания подается на роторную обмотку сельсина датчика *Д*. Статорные обмотки сельсина-датчика соединены со статорными обмотками сельсина-приемника *Пр*. Наведенные в обмотках статора сельсина-датчика ЭДС зависят от углового положения его ротора. Результирующий магнитный поток сельсина-приемника, созданный токами цепей синхронизации, индуцирует в обмотке его ротора ЭДС, зависящую также от его углового положения. Величина этого напряжения зависит от угла рассогласования между роторами сельсина-датчика и сельсина-приемника.

Угол рассогласования равен разности между угловыми положениями ротора и датчика и ротора приемника  $\beta$ , т.е.

$$\varphi = \beta - \alpha$$

Магнитный поток датчика индуктирует в фазовых обмотках статора ЭДС

$$E_1 = E_{\max} \sin \alpha;$$

$$E_2 = E_{\max} \sin(\alpha - 120^\circ);$$

$$E_3 = E_{\max} \sin(\alpha + 120^\circ);$$

Если обозначить полное сопротивление каждой фазовой обмотки статора датчика и приемника через  $z$  и учесть, что они одинаковы, то протекающие по ним токи определяются по формулам

$$I_1 = E_1 / (2z), \quad I_2 = E_2 / (2z), \quad I_3 = E_3 / (2z).$$

Эти токи наводят в обмотке ротора приемника ЭДС

$$E_1' = a I_1 \sin \beta; \quad E_2' = a I_2 \sin(\beta - 120^\circ); \quad E_3' = a I_3 \sin(\beta + 120^\circ),$$

где  $a$  — коэффициент пропорциональности.

Суммарная ЭДС в приемнике (роторной обмотке) определится как сумма составляющих ЭДС:

$$U_{\text{вых}} = E_1' + E_2' + E_3'$$

После всех преобразований имеем

$$U_{\text{вых}} = 3 a E_{\max} / (4 z) \cos(\beta - \alpha)$$

Если роторы датчика и приемника рассогласованы на угол  $90^\circ$ , то выходное напряжение будет

$$U_{\text{вых}} = U_{\max} \cos(90^\circ + \varphi) = U_{\max} \sin \varphi.$$

Такая зависимость является более целесообразной, так как в ней при согласованном положении роторов выходное напряжение равно нулю.

Существует ряд различных контактных и бесконтактных сельсинов. Известны также плоские сельсины, представляющие собой отдельно выполненные ротор и статор.

### 2.2.6 Потенциометрические датчики.

В системах передачи угла часто применяются потенциометрические датчики, работающие и на постоянном токе. Существуют потенциометрические датчики с ограниченным диапазоном работы, круговые потенциометры с тремя и более отводами. По конструкции они делятся на одно- и многооборотные датчики, проволочные и непроволочные (пленочные), а по выполняемой функции — на линейные, функциональные и синусные. Потенциометры позволяют преобразовывать угол поворота в напряжение как при включении в мостовую схему, так и непосредственно.

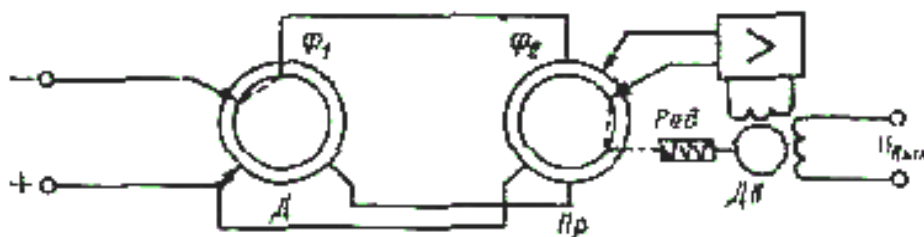


Рис. 2.32

Для создания систем передачи угла, работающих в пределах до  $360^\circ$ , применяются замкнутые кольцевые потенциометры, имеющие несколько отводов. На рис. 2.32 приведена трехпроводная схема синхронной передачи угла с указанным датчиком *Д*. Напряжение питания (постоянное или переменное) подается к щеткам датчика, угол поворота которых  $\varphi_1$  передается на расстояние. Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  снимается со щеток приемника *Пр* и подается через усилитель на электродвигатель *Дв*, обрабатывающий угол рассогласования между угловыми положениями щеток датчика и приемника  $\varphi_2$ .

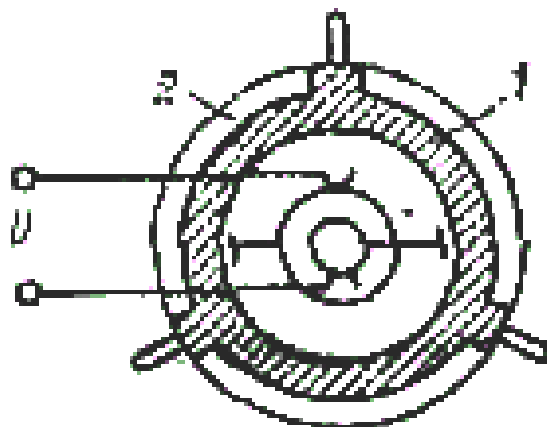


Рис. 2.33

Выходное напряжение приемника равно нулю, когда щетки приемника перпендикулярны щеткам датчика. Известно, что ошибка передачи угла с кольцевым потенциометром по трехпроводной схеме изменяется с периодом, равным  $60^\circ$ , и достигает  $\pm 2^\circ$ . Уменьшение этой методической ошибки достигается применением многопроводной схемы связи. Существуют также непроволоочные (пленочные) потенциометры (рис.2.33), которые выполняются в виде токопроводящей пленки из родия 1, нанесенного на стекло 2 с необходимым количеством отводов. Высокая линейность изменения сопротивления в функции угла поворота обеспечивается технологией нанесения пленки.

Если применен пленочный потенциометр в системе передачи угла по трехпроводной схеме, сопротивление датчика в функции угла поворота выполняется так, чтобы компенсировать методическую ошибку. Монтаж потенциометра в приборах осуществляется путем наклейки на специальные металлические каркасы с коллекторами. На базе пленочных потенциометров могут быть созданы более прецизионные функциональные потенциометры.

### 2.2.7 Емкостные преобразователи

В тех случаях, когда требуются малый момент преобразователя, большое передаточное отношение электрической редукции при малых габаритах, использование в средах, где невозможно применение измерительных элементов с обмотками, могут быть применены емкостные преобразователи, отличающиеся простотой конструкции и возможностью бесконтактного съема сигнала. Однако емкостные преобразователи обладают известными недостатками, к числу которых в первую очередь следует отнести высокоомность выходной цепи, увеличивающую влияние паразитных сигналов. Кроме того, такие преобразователи невозможно использовать во влажных средах, так как попадание воды приводит к нарушению работоспособности емкостных преобразователей за счет изменения диэлектрической проницаемости среды.

Для ослабления влияния паразитных сигналов обычно первый каскад усилителя размещают вблизи емкостного преобразователя, а в связи с применением в настоящее время микроэлектронных элементов поблизости может размещаться весь усилитель. Попадание влаги в зазор между ротором и статором емкостного преобразователя исключается герметизацией узла с емкостным преобразователем.

Существуют различные конструкции емкостных преобразователей, в которых происходит изменение емкости между двумя параллельными пластинами при изменении либо зазора между ними, либо площади перекрытия пластин при угловом или линейном перемещении:

$$C=0.885eS / d=0/885eal / d,$$

где  $e$  - диэлектрическая проницаемость;  $l$  - длина пластины, см;  $a$ — ширина пластины, см;  $d$ —зазор между пластинами, см.

Известны емкостные преобразователи, используемые в различных электрических цепях или в контурах генераторов,

когда изменение емкости в функции угла поворота приводит к изменению частоты тока или напряжения. В следящих системах применяют дифференциальные датчики, которые, будучи включенными в мостовую схему, преобразуют угол поворота в напряжение (см рис. 2.20).

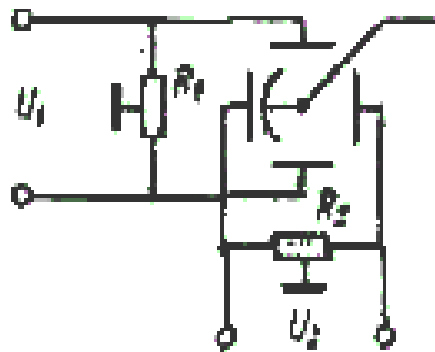


Рис. 2.34

Такие преобразователи могут применяться отдельно как датчики угла или в системе передачи угла, работающей в схеме моста, когда резисторы имеют переменные сопротивления. В этом случае угол поворота ротора емкостного датчика компенсируется поворотом движка потенциометра до баланса моста, т.е. до  $U_{вых}=0$ .

Погрешность этой системы определяется в основном линейностями резисторов и конденсаторов, а диапазон передачи угла меньше  $180^\circ$ .

В диапазоне угла  $360^\circ$  могут быть применены двух- и трехфазные емкостные преобразователи. Схема двухфазного емкостного преобразователя представлена на рис.2.34. В этой схеме напряжение питания подается между ротором и средними точками резисторов  $R_1$  и  $R_2$ . Выходные напряжения  $U_1$  и  $U_2$  в случае синусоидальной конфигурации рабочей поверхности ротора изменяются в функции угла поворота по синусоидальному закону со сдвигом в  $90^\circ$  с периодом  $360^\circ$ . Такие преобразователи могут применяться для дистанционной передачи угла совместно с синусно-косинусными ВТ. Однако погрешность этой системы значительна из-за трудностей обеспечения технологически равенства постоянных  $C_{oi}$  и переменных  $C_{mi}$  составляющих емкостей;

$$C_i = C_{oi} + C_{mi} \sin \varphi.$$

Для повышения точности целесообразно применение емкостных преобразователей с электрической редуцией, в которых происходит осреднение этих емкостей из-за

распределения пластин статора по окружности. При этом необходим выбор таких угловых размеров пластин статора и зубцов ротора, при которых можно получить близкое к синусоиде изменение емкости в зазоре в функции угла поворота.

### **2.2.8 Тахогенераторы**

Тахогенератор представляет собой малогабаритную электрическую машину-генератор, ЭДС который в первом приближении пропорциональна скорости вращения вала. Тахогенераторы используются в устройствах измерения скорости, а также как элементы автоматических устройств в корректирующих цепях. В соответствии с этим к тахогенераторам предъявляется ряд требований.

1. Линейность характеристики, т.е. зависимости ЭДС от скорости.

2. Большая крутизна характеристики.

3. Минимальное остаточное напряжение при нулевой скорости у тахогенераторов переменного тока и минимальная зона нечувствительности у тахогенераторов постоянного тока.

4. Минимальная фазовая погрешность у тахогенераторов переменного тока.

5. Минимальные пульсации (у тахогенератора постоянного тока) и синусоидальность (у тахогенераторов переменного тока) выходного напряжения.

6. Малый момент инерции ротора и момент трения (статический момент).

7. Минимальные габариты и масса.

В зависимости от назначения тахогенератора и области его применения на первый план выдвигаются те или иные из перечисленных требований. Так, для тахогенераторов измерительных устройств основное требование - линейность характеристики и минимальная зона нечувствительности. В системах управления электромашинными устройствами важнейший показатель тахогенератора — крутизна характеристики

Тахогенератором может быть электрическая машина любого типа| т.е. постоянного тока, асинхронная и синхронная и т. д.

**Тахогенераторы постоянного тока** выполняются как маломощные генераторы с независимым возбуждением или магнитоэлектрическим возбуждением от постоянных магнитов. Второй вариант предпочтителен. При независимом возбуждении



необходима стабилизация тока в цепи возбуждения из-за колебаний напряжения источника питания а также появляется дополнительная погрешность из-за непостоянства сопротивления цепи возбуждения, обусловленная изменениями температуры обмотки.

Напряжение тахогенератора постоянного тока

$$U_{ТГ} = E_{я} - I_{я} r_{я} - \Delta U_{щ}$$

где  $E_{я}$  — ЭДС якоря тахогенератора;  $r_{я}$  - сопротивление якоря;  $\Delta U_{щ}$  — падение напряжения в щеточном контакте.

При постоянстве магнитного потока ЭДС генератора является линейной функцией угловой скорости:

$$E_{я} = C_E \Phi_0 \omega.$$

Однако магнитный поток нельзя считать величиной постоянной даже при магнитоэлектрическом возбуждении, так как ток в обмотке якоря создает МДС реакции якоря, что влечет за собой уменьшение потока машины:

$$\Phi = \Phi_0 - \Phi_r.$$

Здесь  $\Phi_r$  - магнитный поток реакции якоря, который в первом приближении можно считать пропорциональным току якоря.

После всех преобразований получим

$$U_{ТГ} = (C_E \Phi_0 \omega - \Delta U_{щ}) / (1 + (C_E c \omega + r_{я}) / r_{я})$$

Как следует из полученного выражения, напряжение тахогенератора — нелинейная функция скорости. Величина  $\omega$  входит не только в числитель, но и в знаменатель. Кроме того, коэффициент  $c$  не является строго постоянным. Падение напряжения в щеточном контакте обуславливает зону нечувствительности; характеристика  $U_{ТГ} = f(\omega)$  исходит не из нуля. Примерный вид характеристики тахогенератора постоянного тока показан рис. 2.35 (сплошная кривая). Штрихами показана ЭДС  $E_{я}$

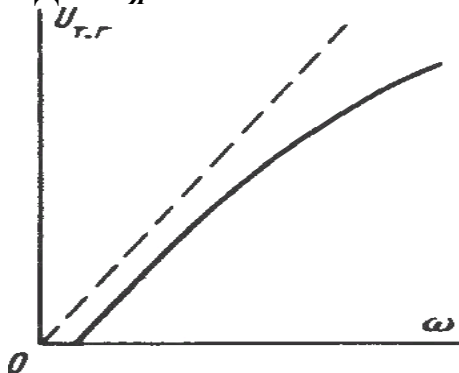


Рис. 2.35

Крутизна характеристики определяется магнитным потоком  $\Phi_0$  и коэффициентом  $C_E$ , зависящим от конструктивных

особенностей тахогенератора, и прежде всего от числа проводников в ветви обмотки якоря. Влияние реакции якоря ослабляется применением добавочных полюсов и за счет воздушного зазора. С этих позиций весьма целесообразен полый или гладкий якорь — по типу применяемого в малоинерционных двигателях. Воздушный зазор в машинах с полым или гладким якорем (как правило, это машины с магнитоэлектрическим возбуждением) всегда достаточно велик. В машинах с электромагнитным возбуждением, напротив, стремятся к насыщению магнитной системы, с тем чтобы на работу тахогенератора не оказывали влияние ни реакция якоря, ни возможные колебания тока возбуждения.

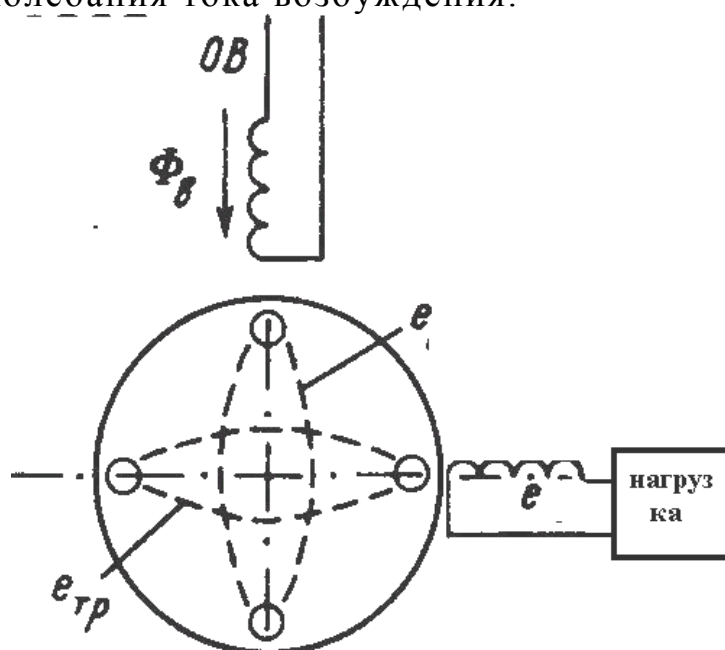


Рис. 2.36

Линейность характеристики в сильной степени зависит от сопротивления нагрузки. При  $r_n \rightarrow \infty$  обеспечивается линейность характеристики.

Зона нечувствительности, являющаяся серьезным недостатком тахогенератора постоянного тока, зависит от сопротивления щеточного контакта. Соответствующим выбором материала щеток зона эта может быть значительно сужена. В частности, в прецизионных тахогенераторах используются серебряно-графитовые щетки и даже щетки с серебряным покрытием.

К недостаткам тахогенератора постоянного тока относятся также пульсации выходного напряжения, обусловленные зубцовой структурой якоря и коммутацией на коллекторе. Влияние первого фактора может быть ослаблено скосом пазов и использованием беспазовой структуры якоря, как у

малоинерционных двигателей; действие второго - увеличением числа коллекторных пластин и соответствующим выбором материала коллекторных пластин и щеток.

Асинхронный тахогенератор (рис. 2.36) представляет собой машину переменного тока с двумя обмотками на статоре, сдвинутыми в пространстве на угол  $90^\circ$ , и полым ротором, аналогичным ротору двухфазного двигателя. Одна из обмоток (обмотка возбуждения ОВ) подключена к источнику переменного тока (обычно 50 или 400 Гц), другая (генераторная, ОГ) является выходной, и с нее снимается напряжение, пропорциональное скорости.

В неподвижном роторе индуцируется ЭДС  $e_{mp}$ , как во вторичной обмотке трансформатора. На рисунке штрихами показаны вторичные контуры. Возникающие токи создают продольный магнитный поток (по оси обмотки возбуждения), оказывающий размагничивающее действие, для компенсации которого ток в обмотке возбуждения увеличивается. Так как ось генераторной обмотки перпендикулярна оси обмотки возбуждения, то при неподвижной машине ЭДС в генераторной обмотке практически не индуцируется.

При вращающемся роторе в нем помимо трансформаторной ЭДС возникает и ЭДС вращения  $e_{вр}$ , пропорциональная скорости вращения. Максимальная ЭДС вращения генерируется в контурах тока элементарных проводников на участках ротора, расположенных на продольной оси машины. Токи, возникающие в роторе, вследствие большого активного сопротивления ротора практически совпадают по фазе с ЭДС вращения и создают пульсирующий поток, направленный по поперечной оси машины. Пульсирующий магнитный поток генерирует в неподвижной генераторной обмотке ЭДС  $e_{mг}$  пропорциональную скорости вращения ротора. Частота ЭДС равна частоте питающей сети. В связи с этим асинхронный тахогенератор весьма успешно применяется в системах, работающих на несущей частоте.

Реальная характеристика асинхронного тахогенератора отклоняется от линейной (рис. 2.37). С увеличением крутизны характеристики погрешность тахогенератора, как правило, возрастает.

Нелинейность характеристики и соответствующая амплитудная погрешность вызываются рядом причин, основные из которых: размагничивающее действие генераторной обмотки, нагруженной на некоторое сопротивление; отклонение

поперечного потока от оси генераторной обмотки, обусловленное индуктивным сопротивлением обмотки ротора, и изменение потока возбуждения за счет ЭДС, наводимой в этой обмотке продольной составляющей потока ротора. Продольный поток пропорционален скорости вращения ротора, и дополнительная ЭДС, индуцируемая в обмотке возбуждения за счет вращения ротора, пропорциональна квадрату скорости. Поэтому погрешность уменьшается с понижением рабочей скорости тахогенератора. Соответственно номинальная скорость тахогенератора должна составлять не более 0,6 синхронной скорости, соответствующей частоте питающего тока.

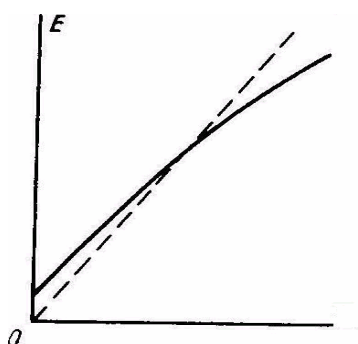


Рис. 2.37

Погрешность асинхронного тахогенератора существенно уменьшается с увеличением активного сопротивления ротора. Поэтому иногда ротор изготавливается не из алюминия, как у асинхронных двигателей, а из материалов с большим удельным электрическим сопротивлением, например из фосфористой или марганцовистой бронзы.

При работе на некоторую нагрузку, естественно, возникает еще погрешность за счет внутреннего падения напряжения в самом тахогенераторе.

Кроме амплитудной погрешности имеется и фазовая: ЭДС генераторной обмотки оказывается смещенной относительно напряжения на обмотке возбуждения. При этом фазовый сдвиг не постоянен, а зависит от скорости. Обе погрешности зависят также от характера нагрузки. При активно-емкостной нагрузке амплитудная погрешность уменьшается, а фазовая увеличивается.

У асинхронного тахогенератора имеется также температурная погрешность, которая в основном связана с нагревом ротора и соответствующим увеличением его сопротивления. Кроме того,

при нагреве снижается крутизна характеристики и возрастает как амплитудная, так и фазовая погрешность.

Остаточная ЭДС у асинхронного тахогенератора обусловлена взаимной индуктивностью обмоток, причины которой в основном технологические, как смещение осей обмоток в пространстве, отличающееся от  $90^\circ$ , непостоянство воздушного зазора по расточке статора, отклонения толщины стенок ротора. При неподвижном роторе остаточную ЭДС можно существенно уменьшить, размещая обмотки возбуждения и генераторную на разных участках магнитопровода: одну, как обычно, на внешнем статоре, а другую — на внутреннем, используемом, в основном, для уменьшения магнитного сопротивления. Поворачивая внутренний статор относительно внешнего, можно добиться минимальной остаточной ЭДС. Несколько меньше остаточная ЭДС в многополюсных машинах, в которых легче обеспечить магнитную симметрию. Поэтому асинхронные тахогенераторы, как правило, выполняются с числом полюсов  $2p \geq 4$ .

Асинхронный тахогенератор применяется не только для измерения скорости, но и для оценки ускорения. Обмотка возбуждения подключается к источнику постоянного тока. При вращении с постоянной скоростью в роторе индуцируется постоянная ЭДС и соответственно в генераторной обмотке никакой ЭДС не будет. При линейно нарастающей скорости вращения ток в роторе и соответственно поток вдоль оси генераторной обмотки увеличиваются по линейному закону. Следовательно, в этой обмотке генерируется ЭДС, пропорциональная скорости нарастания магнитного потока:

$$E = \omega d\Phi / dt.$$

Таким образом, сигнал на выходе тахогенератора пропорционален производной от скорости вращения ротора, т.е. ускорению.

Сопоставляя тахогенераторы постоянного тока и асинхронные, следует отметить, что недостатки тахогенератора постоянного тока связаны с наличием коллектора: зона нечувствительности, обусловленная падением напряжения в щетках, повышенный момент трения, пульсации выходного напряжения, необходимость ухода за щеточным аппаратом. К недостаткам асинхронного тахогенератора относятся: остаточная ЭДС при неподвижном роторе; существенные погрешности и сложная зависимость их от ряда факторов; большие, чем у тахогенератора постоянного тока, габариты и масса. Явное

преимущество асинхронных тахогенераторов — малый момент инерции.

Иногда использование тахогенератора в маломощных системах может привести к существенному увеличению механической инерции, а следовательно, электромеханической постоянной времени. В этих случаях приходится отказываться от применения тахогенератора.

Оба типа тахогенераторов используются приблизительно в равной мере.

**Синхронный тахогенератор** находит ограниченное применение. Он выполняется обычно с магнитоэлектрическим возбуждением. Принцип действия аналогичен принципу действия обычного синхронного генератора. Отличительная особенность синхронного тахогенератора: с увеличением скорости в нем нарастает не только ЭДС, но и частота. При этом изменяется индуктивное сопротивление, включенное в цепь тахогенератора, что приводит к существенной амплитудной погрешности. Поэтому в большинстве случаев именно частота используется для измерения скорости вращения. Применение синхронного тахогенератора целесообразно в схемах управления, работающих по частотному принципу. Изменение направления вращения при использовании однофазных тахогенераторов должно выявляться какими-то дополнительными средствами.

Иногда синхронный тахогенератор применяют совместно с выпрямительным устройством. Это целесообразно в тех случаях, когда пульсации напряжения должны быть минимальными. Используя индукционный генератор с большим числом полюсов (полюсов), можно получить значительную частоту на выходе, а высокочастотные пульсации легко отфильтровать.

**Тахогенератор в системах управления.** В системах управления тахогенератор обычно рассматривается как безынерционное звено, а в системах, где выходная величина - угол поворота  $\theta$ , - как идеальный дифференциатор:

$$E = k \omega = k d\theta / dt$$

Электромагнитную инерцию цепи, к которой подключен тахогенератор, в случае необходимости следует учитывать дополнительным апериодическим звеном. Индуктивное сопротивление самого тахогенератора (в тахогенераторе постоянного тока — индуктивное сопротивление якоря) весьма мало по сравнению с активным сопротивлением обмотки.

Поэтому постоянная времени будет в основном определяться индуктивным сопротивлением нагрузки.

## **2.3 ЭЛЕКТРОННЫЕ КОММУТАТОРЫ**

### **2.3.1 Основные требования и состав**

Показатели работы ШЭД в ЦСП во многом определяются выполнением ЭК, который преобразует входную комбинацию управляющих сигналов в выходную последовательность, необходимую для коммутации обмоток двигателя в соответствии с выбранным алгоритмом. Определяющими параметрами входного сигнала являются только частота и количество управляющих импульсов. Амплитуда и форма входных импульсов могут изменяться в определенных пределах, не нарушая функционирования системы. Не останавливаясь подробно на общих особенностях построения ЭК ШЭД, которые подробно изложены в литературе, отметим их специфические особенности применительно к ЭМТП:

- построение ЭМТП, предусматривающее применение ПОС, не требует установки ротора в исходное положение перед обработкой. При включении напряжения питания ЭК устанавливается в одно из произвольных устойчивых состояний;
- поскольку ЭК является элементом, определяющим надежность ЭМТП, к нему предъявляются требования максимальной схемной простоты, надежности и помехоустойчивости при минимальном количестве элементов;
- коммутатор должен быть рассчитан на работу с произвольной программой, т.к. в процессе обработки возможны как предельная частота следования импульсов, так и длительное их отсутствие. Это определяет необходимость обеспечения четкой фиксации ротора ШЭД на требуемый период

Обычно в состав ЭК ШЭД входят следующие функциональные узлы и устройства: распределители импульсов (РИ), формирующие требуемую циклограмму естественного переключения обмоток; устройства электрического дробления шага, производящие многократное искусственное деление основного шага; УМ, коммутирующие фазные токи обмоток; резистивные и электронные формирователи фазных токов;

вторичные источники электропитания, формирующие требуемые для управления уровни напряжения и токов

Коммутаторы ВЭД содержат также электронные устройства управления узлами обратной связи и обработки их входной и выходной информации. Кроме указанных основных функциональных узлов в состав ЭК ШЭД и ВЭД иногда входят элементы для контроля, защиты, сигнализации и т. п.

По существу ЭК ШЭД является статическим преобразователем частоты, вырабатывающим  $m$ -фазную систему импульсов напряжения несинусоидальной формы. Укрупненно ЭК состоит из логической и усилительной частей. Схемотехника последней в достаточной степени универсальна, поскольку аналогична схемотехнике УМ регуляторов для электродвигателей постоянного и переменного токов, построение которых рассмотрено в соответствующей литературе. Поэтому они подробно не рассматриваются, а затрагиваются вопросы, связанные со спецификой их миниатюризации для ЭК.

В ЦСП рассматриваемого класса используются ШЭД и ВЭД с мощностью управления до 200 Вт, для которых ЭК выполняются на транзисторах и ИМС.

### **2.3.2 Монорежимные транзисторные ЭК**

При использовании транзисторов основные усилия в области проектирования ЭК были направлены на упрощение его структуры. Такой подход привел к созданию транзисторного коммутатора с совмещенной логикой, в котором функции распределения, запоминания и усиления совмещены в одном устройстве. На его основе была разработана серия ЭК для четырехфазных ШЭД с мощностью управления от 5 до 100 Вт при парном алгоритме коммутации обмоток управления. Высокие энергетические показатели и помехоустойчивость этой серии ЭК в определенной степени содействовали созданию ряда дискретных разомкнутых и замкнутых ЭМТП. Благодаря первым успехам микроэлектроники удалось выполнить ЭК с выходной мощностью 5 и 10 Вт в миниатюрном исполнении].

Функциональная схема такого ЭК приведена на рис. 2.38.

Он состоит из четырех одинаковых функциональных узлов — плеч триггера ПТР, которые образуют два силовых триггера, каждый из которых осуществляет коммутацию одной фазы ШЭД.

Для обеспечения требуемой последовательности переключения обмоток ШЭД триггеры соединены в кольцо при



помощи цепей обратной связи, являющихся импульсно-потенциальными схемами совпадения, что обеспечивает соответствующее направление поступления управляющих импульсов на входы триггера. Изменение состояния триггера не влияет на состояние соседнего триггера, но меняет распределение потенциалов в цепях обратной связи. Входные положительные импульсы подаются по двум отдельным входам через емкости. Диод схемы совпадения является одновременно разделительным элементом на входе соседнего триггера. Управляющий потенциал подается с коллектора транзистора через развязывающий резистор.

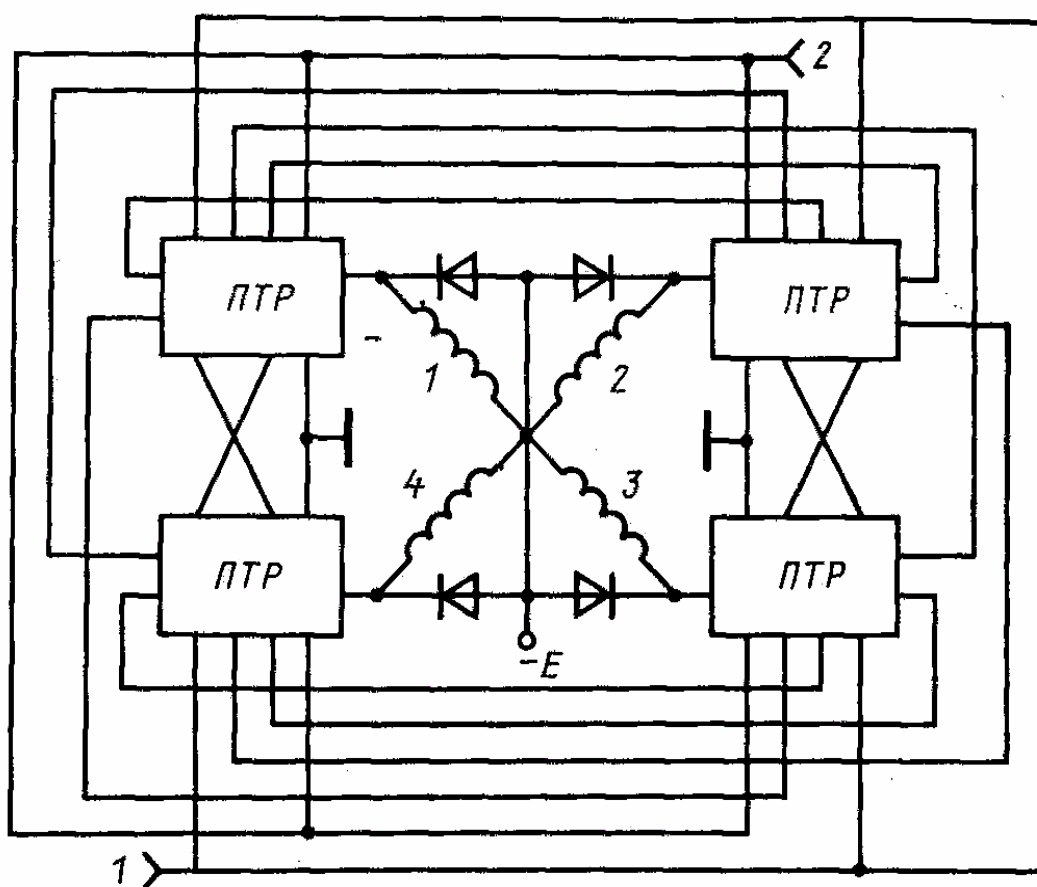


Рис. 2.38

На вход схемы совпадения импульс попадает в том случае, если потенциал коллектора ПТР близок к нулю. Чтобы входные импульсы выявили предыдущее состояние триггера, момент изменения управляющего потенциала на схеме совпадения должен быть задержан относительно этих импульсов. Поскольку входные импульсы подаются от источника, имеющего низкое выходное сопротивление, емкость конденсатора и сопротивление

резистора образуют интегрирующую цепь для сигнала, снимаемого с коллектора. Постоянные времени цепи заряда и разряда конденсатора выбирают с учетом максимальной частоты управляющих импульсов и их длительности.

Плечо триггера ЭК выполнено по схеме составного ключа. Ток двигателя проходит через оба транзистора ПТР, причем коллектор выходного транзистора соединен с обмоткой через резистор, а коллектор предоконечного транзистора — непосредственно. Такое включение обеспечивает устойчивый режим работы ПТР при изменении тока нагрузки, температуры окружающей среды и напряжения питания, поскольку ток базы выходного транзистора автоматически регулируется за счет обратной связи по току двигателя.

Изменение температуры окружающей среды от  $-50^{\circ}$  до  $+70^{\circ}$  С вызывает двухкратное изменение тока нагрузки через выходной транзистор вследствие изменения активной составляющей сопротивления обмоток ШЭД. При работе в таком широком диапазоне температур необходимо учитывать и температурные изменения сопротивления цепи обратной связи.

Для обеспечения работоспособности ЭК это сопротивление выбирают, исходя из условий создания режима насыщения выходного транзистора при наименьшей температуре. Если значения температурных коэффициентов сопротивлений (ТКС) нагрузки и элемента обратной связи соизмеримы, то напряжение обратной связи во всем диапазоне температур остается практически неизменным. При повышении температуры уменьшается ток нагрузки и растет коэффициент усиления транзисторов по току, что вызывает увеличение степени насыщения выходных транзисторов и приводит к росту потерь в их выходных цепях. Элемент обратной связи должен иметь отрицательный ТКС, соизмеримый с ТКС обмотки управления ШЭД.

Увеличение мощности коммутации достигается параллельным включением выходных транзисторов. С целью выравнивания токов элементы обратной связи включены в коллекторные цепи каждого выходного транзистора (рис. 2.39).

При проектировании серии ЭК учтены требования обеспечения помехоустойчивости в цепи источника питания. Коллекторные сопротивления триггера ЭК имеют минимально возможное значение, определяемое значением активной составляющей сопротивления обмотки ШЭД. Максимальная

помехозащищенность коммутатора достигается в результате исключения ускоряющих емкостей и повышения напряжения смещения.

Конструктивно такой ЭК выполнен в виде узла, состоящего из четырех гибридных интегральных микросхем (ГИС).

Один из возможных путей миниатюризации ЭК с совмещенной логикой состоит в использовании при его реализации интегральных матричных структур, содержащих в стандартном корпусе ИМС наборы активных и пассивных элементов. Число элементов в корпусе ИМС кратно четырем, что удобно для четырехтактного ЭК. Перспективность использования матричных структур в ЭК для ШЭД и ВЭД определяется тем, что плечо триггера при отдельном построении ЭК может быть использовано в качестве УМ.

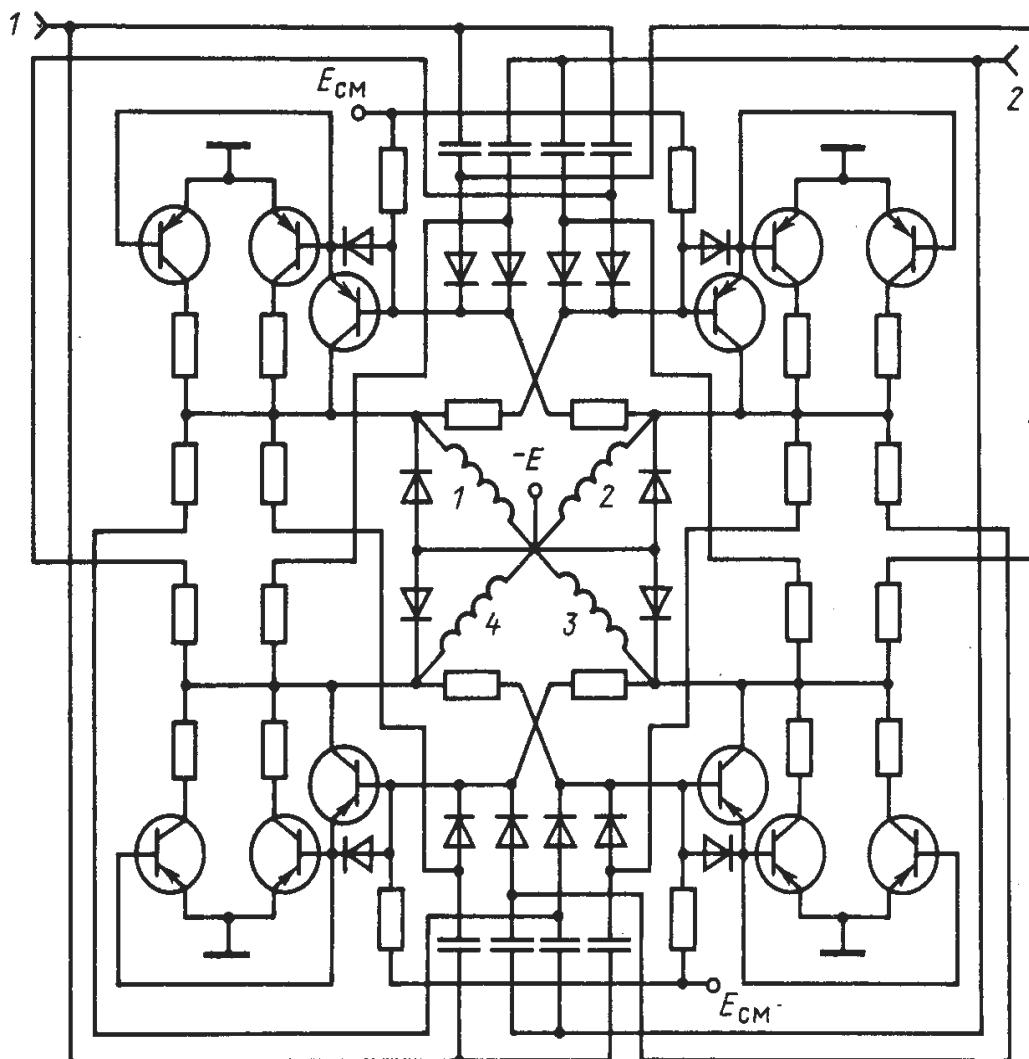


Рис. 2.39

Функциональная схема матричного ЭК (рис. 2.40) состоит из двух силовых триггеров, каждый из которых осуществляет

коммутацию одной фазы ШЭД. Плечо триггера выполняется на основе транзисторной матрицы (ТМ). Выбор конкретного типа матриц определяется полярностью источника питания ШЭД.

Широкая область применения ТМ определяется не только высокими электрическими характеристиками прибора, его малыми габаритными размерами при значительной рассеиваемой мощности, но и особенностями его конструкции: отдельными выводами всех электродов четырех структур, электрической изоляцией всех электродов от корпуса сборки, что позволяет значительно повысить допустимую рассеиваемую мощность без увеличения габаритных размеров ЭК за счет их размещения на конструктивных узлах приборов, используемых в данном случае в качестве теплоотвода. Для более равномерного распределения тепловых потерь при всех режимах работы ШЭД следует учитывать периодичность в работе ключевых элементов ЭК. С этой целью необходимо в каждое ПТ включать транзисторы, находящиеся в различных корпусах. Это особенно важно при параллельном включении нескольких транзисторов на одну обмотку управления.

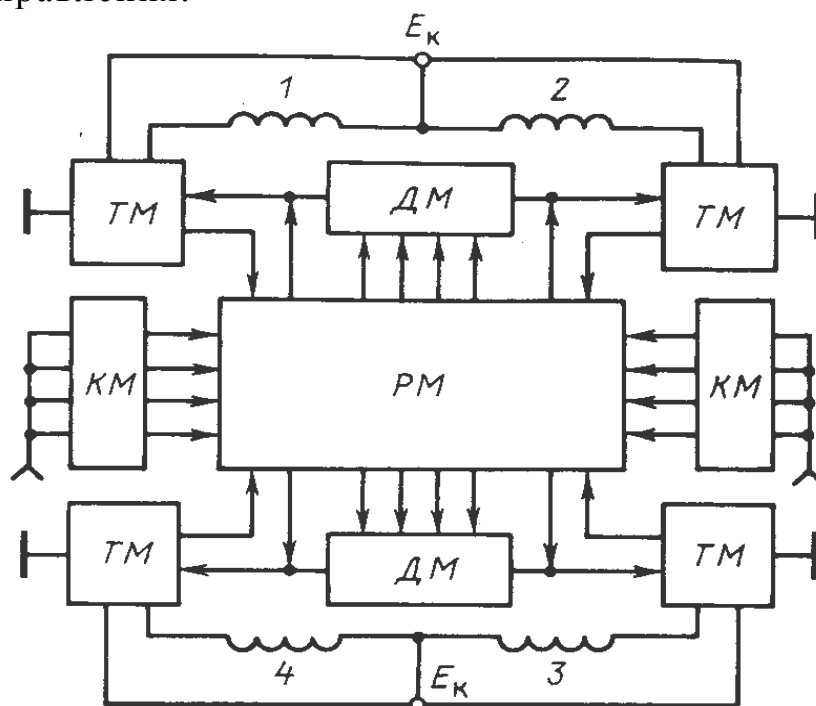


Рис. 2.40

Все элементы, входящие в конденсаторные (КМ), диодные (ДМ) и резистивные (РМ) матрицы, однотипны, и количество их в корпусе кратно четырем. Это создает не только определенные преимущества технологического характера, но и позволяет эти же элементы использовать при создании ЭК ШЭД повышенной

надежности с поэлементным дублированием, в которых каждый элемент заменяется четверкой элементов, соединенных последовательно-параллельно.

К недостаткам рассмотренных монорежимных ЭК на основе транзисторного коммутатора с совмещенной логикой относятся ограниченные функциональные возможности, исключающие выполнение на его основе ЭК для ШЭД с числом обмоток, отличающихся от четырех. Устранение этого ограничения связано с разделением логической и выходной частей ЭК. Одним из неперенных условий успешного решения этой задачи является комплексная миниатюризация, предусматривающая выполнение ЭК в виде ГИС или БИС.

### 2.3.3 Монорежимные распределители на ИМС

Своеобразие задач, решаемых многотактным РИ, часто не позволяет непосредственно использовать известные принципы построения устройств вычислительной техники на ИМС.

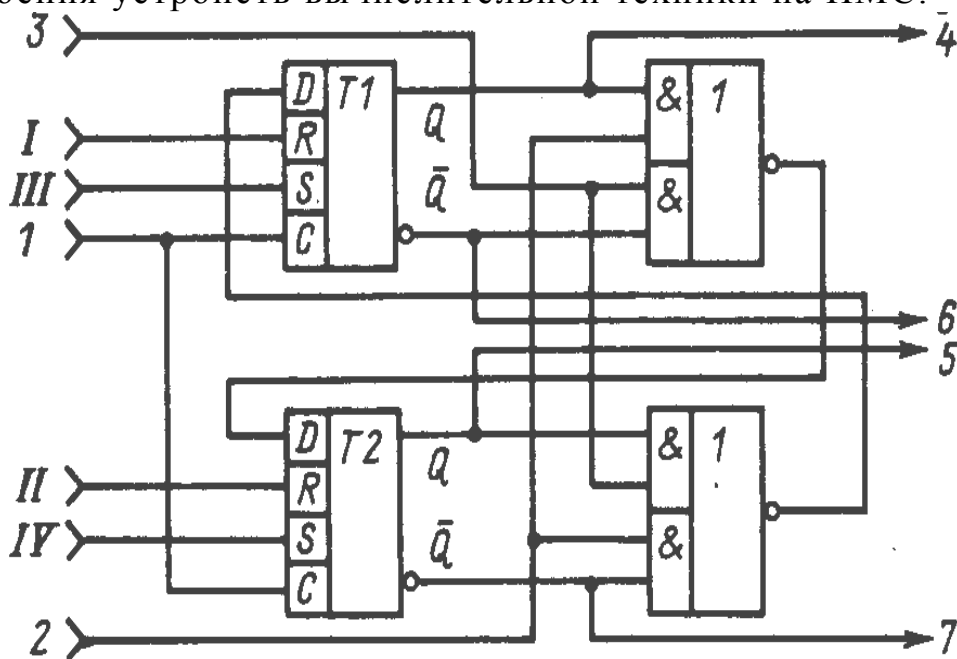


Рис. 2.41

Анализ разработок в области многотактных монорежимных ЭК показывает, что их улучшение может быть достигнуто за счет дальнейшего совершенствования схемотехники, лучшего использования потенциальных возможностей цифровых ИМС. Прежде всего это относится к РИ, которые являются основным элементом рассматриваемых далее ЭК на ИМС.

В схемотехнике ЭК широко используются распределители, выполненные на основе двух интегральных JK-триггеров, замкнутых в кольцо перекрестными обратными связями с

выходов одного триггера на входы другого через логические схемы 2И— 2ИЛИ—НЕ. Наличие инверторов в цепях обратной связи, относительная сложность самого триггера и его ограниченные функциональные возможности привели к поискам иных путей построения РИ для ЭК.

Более простое схемное решение РИ (рис. 2.41) было получено при применении в нем интегральных D-триггеров. Работает РИ следующим образом. Пусть на шину направления 2 подан потенциал логической 1, а на шину направления 3— потенциал логического 0. Предположим, что перед приходом первого импульса по шине тактов 1 триггеры  $T1$  и  $T2$  находятся в состоянии 1, т.е. на выходе  $Q$ —потенциал логической 1, а на выходе  $notQ$  — потенциал логического 0. При этом на выходных шинах 4—7 распределителя имеется комбинация потенциалов 1010 и на D-вход триггера  $T2$  поступает потенциал логического 0, а на D-вход триггера  $T1$  — потенциал логической 1.

По фронту первого импульса, пришедшего по шине тактов 1, триггер  $T2$  переходит в состояние логического 0, которому соответствует на выходе  $Q$  потенциал логического 0, а на выходе  $Q$  — потенциал логической 1. При этом на выходных шинах 4—7 распределителя устанавливается комбинация потенциалов 1001 и на D-входы триггеров  $T1$  и  $T2$  поступают потенциалы логических 0. По фронту второго импульса, пришедшего по шине тактов 1, триггер  $T1$  переходит в состояние логического 0, а триггер  $T2$  не изменит своего состояния. При этом на выходных шинах 4—7 распределителя устанавливается комбинация потенциалов 0101, на D-вход триггера  $T2$  поступает потенциал логической 1, а на D-вход триггера  $T1$  — потенциал логического 0.

По фронту третьего импульса, пришедшего по шине тактов 1, триггер  $T1$  не меняет своего состояния, а триггер  $T2$  переходит в состояние логической 1. При этом на выходных шинах 4—7 распределителя устанавливается комбинация потенциалов 0110 и на D-входы триггеров  $T1$  и  $T2$  поступает потенциал логической 1. По фронту четвертого импульса, пришедшего по шине тактов 1, триггер  $T1$  переходит в состояние логической 1, а триггер  $T2$  не изменяет своего состояния. При этом на выходных шинах 4—7 распределителя устанавливается комбинация потенциалов 1010, т.е. распределитель устанавливается в первоначальное состояние. С приходом последующих импульсов по шине тактов 1 цикл работы распределителя повторяется.

При подаче на шину направления 3 потенциала логической 1 на выходных шинах 4—7 РИ имеет место обратный порядок чередования кодовых комбинаций: 1010—0110—0101—1001—1010—...

Таким образом, при поступлении на шину тактов 1 входной последовательности импульсов и подаче на шину направления 2 потенциала логической 1 на выходных шинах 4—7 распределителя формируется прямая, а при переключении потенциала логической 1 на шину направления 3—обратная последовательность импульсов, соответствующая 4-тактной парной коммутации 4-обмоточного ШЭД.

В ряде случаев необходимые качественные и количественные показатели ЭМТП с 3- и 4-фазными ШЭД достигаются использованием 6- и 8-тактных алгоритмов коммутации, т. е. путем естественного дробления шага при чередовании элементарного и неэлементарного алгоритмов коммутации. Для их реализации при неизменной силовой части, содержащей  $m$  каналов — по числу обмоток управления, требуется распределитель, обеспечивающий  $2m$  состояний.

#### 2.3.4 Многорежимные ЭК ШЭД

Для реализации микропрограммного управления, предусматривающего изменение алгоритма коммутации ШЭД при фиксированном способе управления, используется многорежимный электронный коммутатор (МЭК). Смена алгоритмов коммутации производится путем воздействия по входу или выходу РИ потенциальными сигналами, подаваемыми по командным шинам.

Построения МЭК, предусматривающие задание алгоритмов воздействием по выходу РИ, базируются на использовании свойства полноты элементарного алгоритма. Необходимые преобразования выходных сигналов РИ производятся коммутатором алгоритмов КА.

Этот принцип реализуется в двухрежимном ЭК ШЭД (рис. 2.42).

Многорежимный электронный коммутатор содержит РИ (см. рис. 2.41), дешифратор на логических схемах совпадения 8—11, коммутатор алгоритмов, содержащий логические схемы 2И—2ИЛИ—НЕ 14—17 и УМ 18—21. Направление вращения двигателя определяется подачей потенциального сигнала на шины 2 или 3 РИ.

При поступлении импульсов управления на шину / на выходах 4—7 РИ формируется 4-канальная последовательность импульсов, временная расстановка которых соответствует алгоритму парной коммутации обмоток ШЭД. Эта последовательность преобразуется дешифратором в последовательность, соответствующую элементарному алгоритму. Необходимый алгоритм коммутации ЭК на выходе задается подачей разрешающего потенциала на командную шину 12 алгоритма поочередной коммутации, либо на командную шину 13 алгоритма парной коммутации. Снятие разрешающего потенциала с обеих командных шин приводит к запирающему состоянию всех УМ, т.е. отключению двигателя от сети.

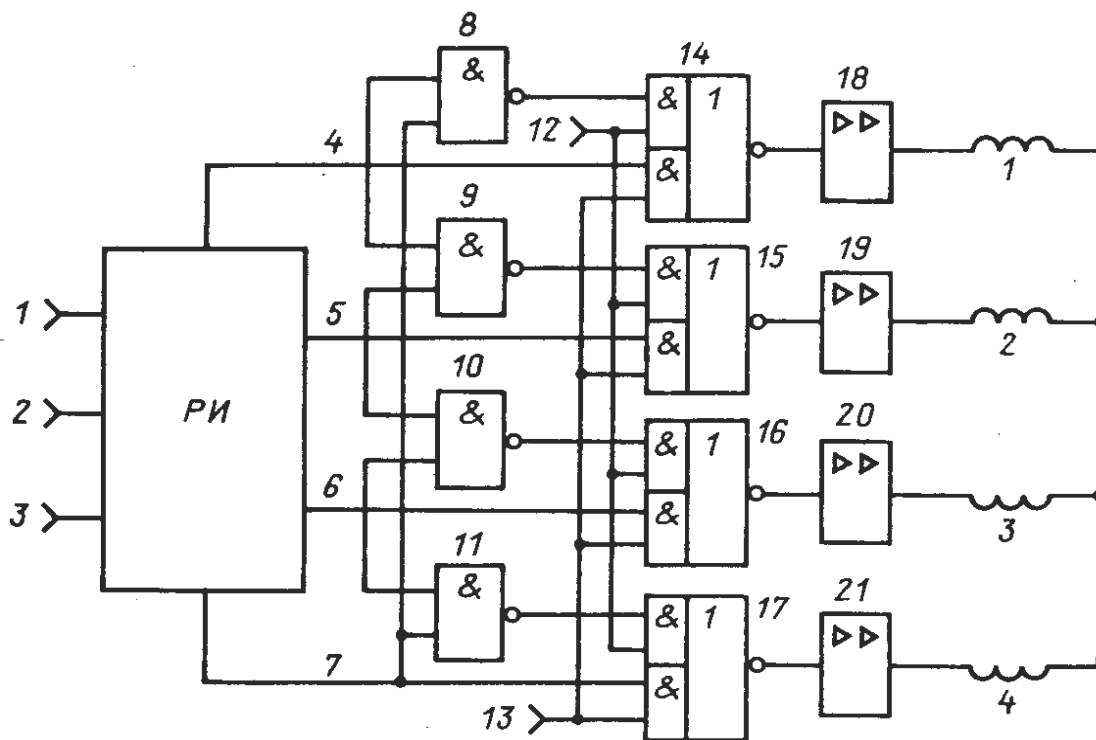


Рис. 2.42

Введение в состав МЭК триггера тактов и формирователя алгоритмов позволяет реализовать 8-тактную коммутацию, т.е. полностью использовать возможности микропрограммного управления.

### 2.3.5 Полнорежимные ЭК ШЭД и ВЭД

Принципы, положенные в основу построения моно- и многорежимных ЭК для ШЭД позволяют реализовать ПЭК, обеспечивающие оперативное изменение способа управления электродвигателем в ЭМТП.



Одним из основных элементов ПЭК является РИ (см. рис. 2.41). Достоинство этого построения — в возможности реализации параллельного ввода информации МОС. При работе от ДПР информация поступает в виде позиционного кода по шинам  $I—IV$  на соответствующие  $R$  и  $S$  - входы D-триггеров, на выходах  $Q$  и  $notQ$  которых, как и в режиме пошагового управления, формируется 4-канальная последовательность импульсов, взаимная расстановка которых соответствует алгоритму парной коммутации ШЭД. Такой РИ является в достаточной степени универсальным и может быть использован для управления ШЭД и ВЭД.

Обобщенная структурная схема ВЭД с такой разновидностью ПЭК представлена на рис. 2.43

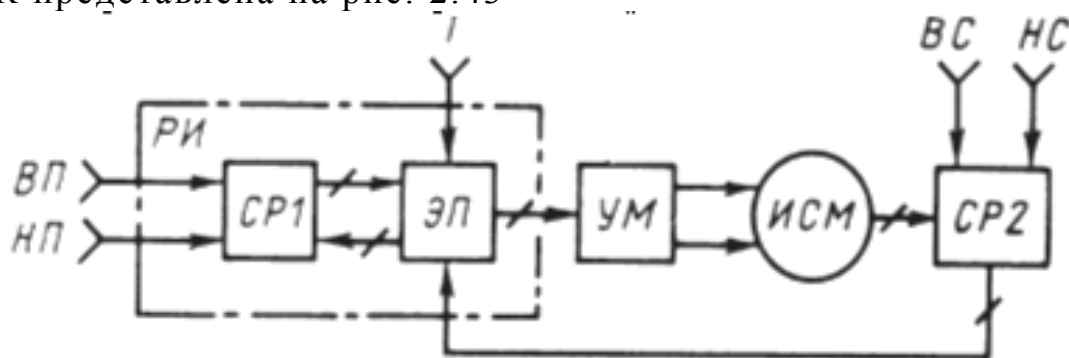


Рис. 2.43

В нее входят РИ, УМ, схема реверса СР2 и ИСМ, содержащий электродвигатель с ДПР. Необходимо напомнить, что в состав РИ входит своя схема реверса СР1, выполненная на логических элементах 2И—ИЛИ—НЕ, которая логически предшествует элементу памяти ЭП, выполненному на D-триггерах. Реверс электродвигателя в режиме самокоммутации осуществляется в контуре МОС схемой реверса СР2, а при пошаговом управлении — СР1.

В соответствии с обобщенной схемой (рис. 2.43) могут быть реализованы  $m$ -фазные ВЭД. Полирежимный электронный коммутатор для них строится на основе РИ монорежимных ЭК. Для ВЭД с четным числом фаз достаточно сигналы с выхода СР2 ВЭД подать на  $S$ -входы соответствующих D-триггеров и прекратить подачу импульсов на шину  $I$ .

Смена способа управления электродвигателем производится подачей на соответствующие входы ПЭК (см. рис. 2.43) потенциальных сигналов вперед (ВП) и назад (НП) пошагового управления, вперед (ВС) и назад (НС) самокоммутации. При

пошаговом управлении тактовые импульсы поступают на вход  $T$  РИ.

Неодинаковая тактность коммутации при различных режимах работы оказывается полезной при работе с индуктивными ШЭД, имеющими зоны параметрического резонанса на основной коммутации при пошаговом управлении.

Для случаев, когда алгоритм коммутации должен оставаться неизменным при переходе с одного режима работы на другой, например при применении магнитоэлектрического ШЭД, может быть рекомендована функциональная схема ПЭК, представленная на рис. 2.44,а, в которой используется принцип автономного реверсирования для каждого способа управления (см. рис. 2.43), а элемент памяти выполнен на D-триггерах, тактируемых фронтом. Автономность позволяет рассматривать работу в каждом из режимов отдельно. Смена способа управления производится сигналами, аналогичными обозначенным на рис. 2.43.

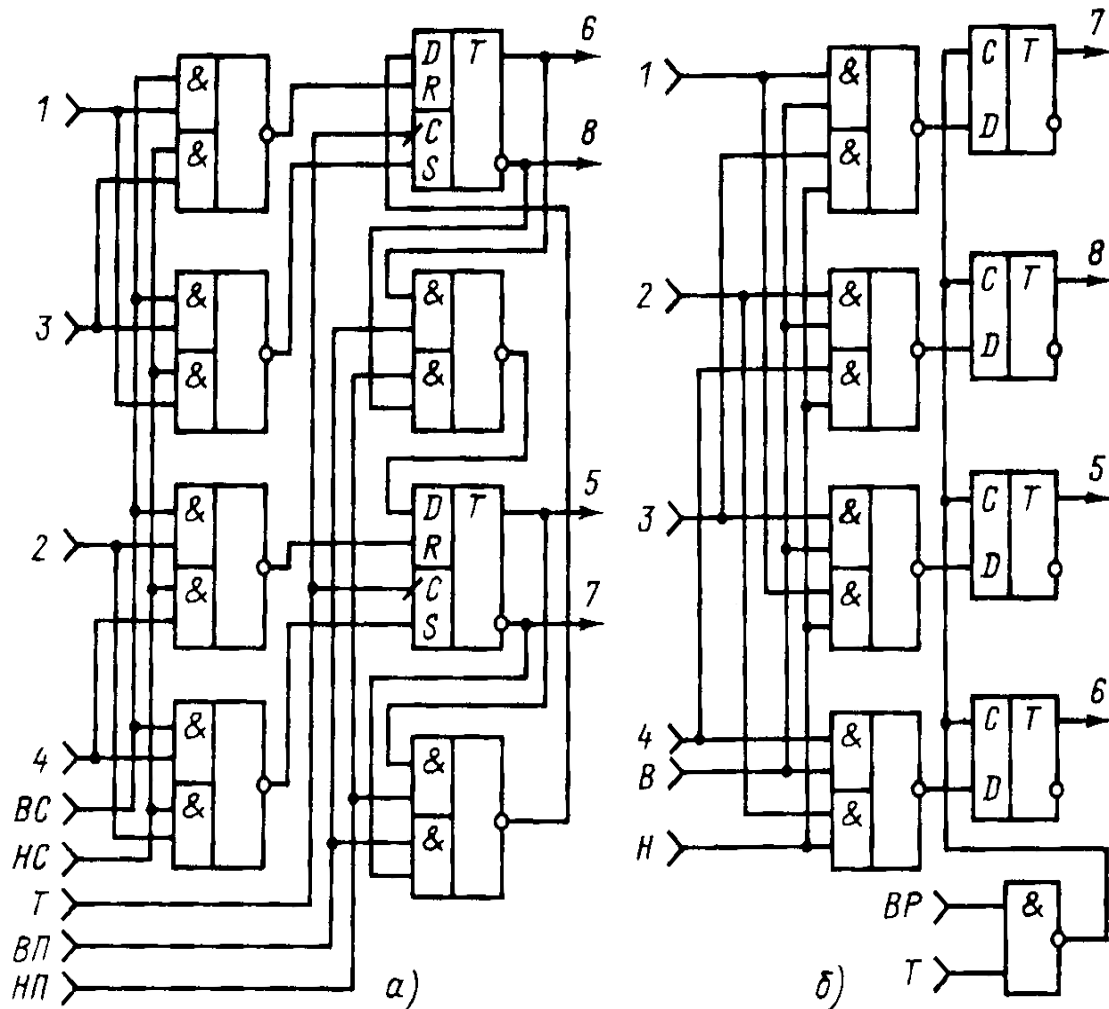


Рис. 2.44

В режиме ВЭД генератор импульсов обычно отключается, а переключение триггеров элемента памяти происходит по сигналам ДПР. При достижении ротором ВЭД определенных положений на выходах ДПР осуществляется смена кодовой комбинации, в соответствии с которой триггеры переключаются таким образом, чтобы обеспечить непрерывное вращение ротора ВЭД путем включения соответствующих комбинаций его обмоток.

Следует отметить, что нормальная работа в режиме ВЭД может осуществляться и без отключения генератора импульсов. Для работы в этом режиме достаточно подать потенциал логической 1 на любой из входов ПЭК для самокоммутации (ВС или НС). Построение устройства в этом случае обеспечивает приоритет прохождению сигналов от ДПР. Отсутствие сигналов на обоих входах направлений самокоммутации соответствует работе устройства в режиме пошагового управления по сигналам генератора импульсов, поступающих на вход  $T$  ПЭК. Это свойство оказывается полезным в устройствах, предусматривающих автоматическую смену режимов.

Переход в схеме элемента памяти на D-триггеры, тактируемые уровнем, позволяет не только упростить ПЭК, но и сделать его более универсальным. При таком выполнении ПЭК (рис. 2.44,б) можно менять алгоритм коммутации. Для этого достаточно изменить последовательность сигналов на выходе ДПР. Немаловажным достоинством является и то, что такой принцип построения ПЭК может быть использован при любом числе фаз ВЭД.

В отличие от варианта ПЭК, структурная схема которого представлена на рис. 2.43, а функциональная—на рис. 2.44,а, задание способа управления электродвигателем в варианте ПЭК, представленном на рис. 2.44,б, производится логическим уровнем сигнала на входе выбора режима (ВР). Выбор направления перемещения производится подачей потенциальных сигналов на входы вперед (В) и назад (Н) ПЭК, на тактовый вход  $T$  которого поступают импульсы управления при пошаговом управлении.

Переход в РИ на D-триггеры, тактируемые уровнем, позволяет существенно упростить ПЭК для 4-фазного ВЭД, структурная схема которого показана на рис. 2.45.

На рис. 2.46,а представлена схема ПЭК, реализующего неизменный алгоритм коммутации в режиме как пошагового управления, так и самокоммутации.

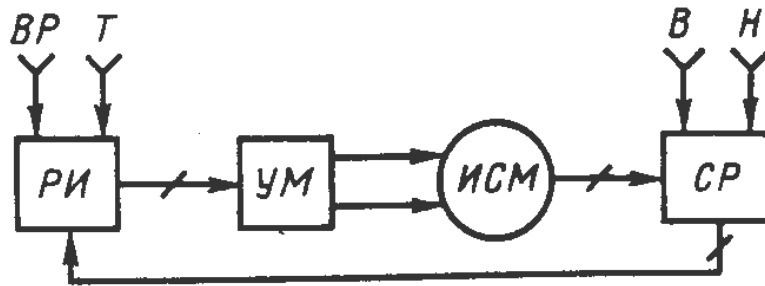


Рис. 2.45

Устройство работает следующим образом. Пусть на вход  $B$  подан потенциал логической 1, а на входы  $H$  и  $BP$ —потенциал логического 0. При этом разрешается прохождение сигналов с выходов 1 и 2 ДПР через схему реверса и элемент памяти на выходные шины 5—8. Если ротор ВЭД находится в таком положении, что на выходах 1 и 2 ДПР устанавливаются потенциалы логического 0, то на выходных шинах 5—8 одновременно устанавливается комбинация логических сигналов 1100. Это обеспечивает включение обмоток управления, приводящее к перемещению роторов ВЭД и ДПР в прямом направлении. Перемещение последнего приводит к изменению потенциала на выходе 1 ДПР.

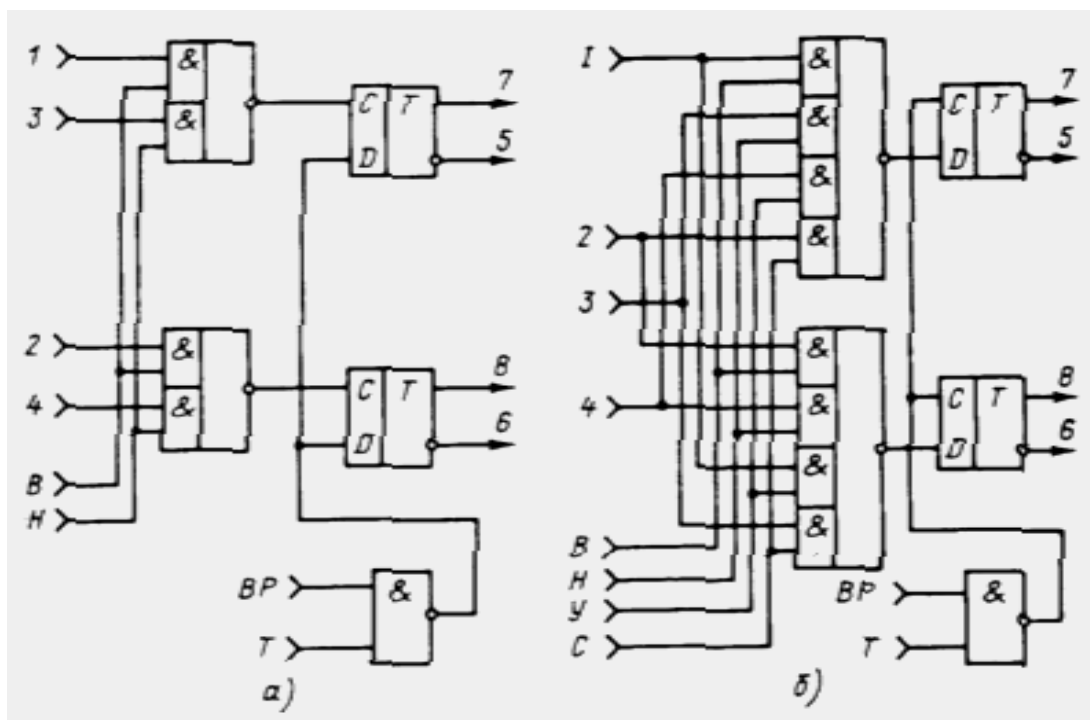


Рис. 2.46

Новая комбинация логических сигналов 10 на выходах 1, 2 влечет за собой появление на выходных шинах 5—8 комбинации логических сигналов 0110. При этом включаются обмотки, обеспечивающие дальнейшее перемещение ротора в прямом направлении. Последующая работа устройства при перемещении в прямом направлении аналогична. На выходах 1, 2 ДПР происходит следующая смена комбинаций логических сигналов: 00—10—11—01—00..., а на выходных шинах 5—8: 1100—0010—0011—1001..., что соответствует перемещению ротора при парной коммутации в прямом направлении.

Если потенциалы на входах направлений *V* и *H* сменить на обратные, то потенциал логической 1 на входе *H* разрешает прохождение сигналов с выходов 3 и 4 ДПР через схему реверса. Это эквивалентно развороту ротора ДПР относительно ротора ВЭД на угол, равный половине периода пространственной кривой синхронизирующего момента, и ведет к смене знака вращающего момента, приложенного к ротору электродвигателя. В результате изменяется направление перемещения ротора ВЭД и на выходах 3, 4 ДПР происходит смена комбинаций логических сигналов 00—01—11—10—00..., а на выходных шинах 5—8— 1100—1001—0011—0010—1100...

Для остановки ВЭД достаточно подать на входы *VP* и *T* потенциал логической 1, тогда на входы *C* синхронизации триггеров поступает логический 0. В элементе памяти фиксируется последняя комбинация сигналов. Включение обмоток остается постоянным независимо от сигналов ДПР. Остановка ВЭД может осуществляться также подачей на входы *V* и *H* одинаковых потенциалов логических либо 0, либо 1.

В режиме пошагового управления на входы направлений *V* и *H* подается комбинация потенциалов, соответствующая требуемому направлению перемещения, на вход *VP* — потенциал логического 0, а на вход *T* — последовательность коротких отрицательных импульсов. В этом режиме информация ДПР проходит на выходные шины 5—8 не сразу, а лишь при поступлении очередного тактового импульса. В промежутках между импульсами информация на выходных шинах 5—8 не изменяется и, если пошаговому управлению предшествовал режим самокоммутации, то в эти интервалы происходит торможение ротора ВЭД. Поэтому переход с самокоммутации на пошаговое управление с более низкой частотой перемещения поля статора ВЭД осуществляется плавно, без сбоев, за счет

автоматической синхронизации перемещения ротора путем использования в качестве распределителя ДПР. Непрерывное перемещение ротора ВЭД, которое происходило в режиме самокоммутации, заменяется последовательностью дискретных шагов. Как при пошаговом управлении, так и в режиме самокоммутации ВЭД работает при неизменном алгоритме коммутации.

Построение ПЭК (рис. 2.46,а) позволяет расширить его функциональные возможности. Если сопоставить реверсивные варианты устройств, имеющие одинаковые функциональные возможности, то выигрыш увеличивается. Еще более широкие функциональные возможности имеет ПЭК, схема которого представлена на рис. 2.46,б

Расширение функциональных возможностей достигается путем замены логических элементов 2И—ИЛИ—НЕ в схеме реверса на элементы 4И—ИЛИ—НЕ и введением в ПЭК входов  $У$  — ускоренного перемещения и  $С$  — стопорения. В режимах пошагового управления и самокоммутации с нейтральным углом коммутации на входы  $У$  и  $С$  подаются сигналы логического 0, а на входы направления  $В$  и  $Я$ , тактов  $T$  и выбора режима  $ВР$  — те же, что и в ПЭК, выполненном по схеме на рис. 2.46,а.

Для получения режима ускоренного вращения на вход  $У$  подается потенциал логической 1, на входы направления  $В$  и  $Н$ , стопорения  $С$  и выбора режима  $ВР$  — логический 0. При этом в ВЭД обеспечивается опережающая коммутация с фиксированным углом, равным  $90^\circ$ , а направление перемещения ротора определяется направлением, предшествующим моменту включения этого режима.

Режим стопорения осуществляется подачей на вход стопорения  $С$  логической 1; на остальные шины подается логический 0. Переключение обмоток ВЭД происходит таким образом, что вектор поля статора всегда устанавливается в положение, согласующееся с вектором поля ротора. Такое построение дает возможность плавно менять угол коммутации, а следовательно и скорость перемещения в определенных пределах. Это достигается подачей на входы  $У$  и  $ВР$  логической 1, на входы  $С$  и  $В$  или  $Н$  логического 0, а на вход  $T$  — задержанных импульсов. Если время задержки установлено равным нулю, то угол коммутации равен  $90^\circ$ . При введении задержки этот угол становится меньше  $90^\circ$  и это уменьшение пропорционально времени задержки.

Применение ВЭД с переменным углом коммутации оказывается более эффективным в области высоких скоростей перемещения, чем использование обычного ВЭД, имеющего нейтральный угол коммутации. Введение ШИМ способствует повышению плавности перемещения.

При программируемом разгоне можно повысить добротность дискретного ЭМТП за счет роста скорости перемещения при неизменной разрешающей способности, определяющей его позиционную точность. Обратное происходит при минишаговом управлении. Перевод электродвигателя в режим самокоммутации с ШИМ является более эффективным способом для повышения добротности за счет как увеличения скорости перемещения, так и одновременного роста разрешающей способности дискретного ЭМТП, который работает практически в непрерывном режиме.

Введение опережения в управляющий сигнал позволяет компенсировать электромагнитное запаздывание, возникающее вследствие экспоненциального нарастания тока в обмотках ВЭД при подаче на них прямоугольного импульса напряжения УМ. Плавное или ступенчатое введение опережения обеспечивает выведение ВЭД на режим, которому соответствует предельная скорость перемещения его ротора при отсутствии электромагнитного запаздывания.

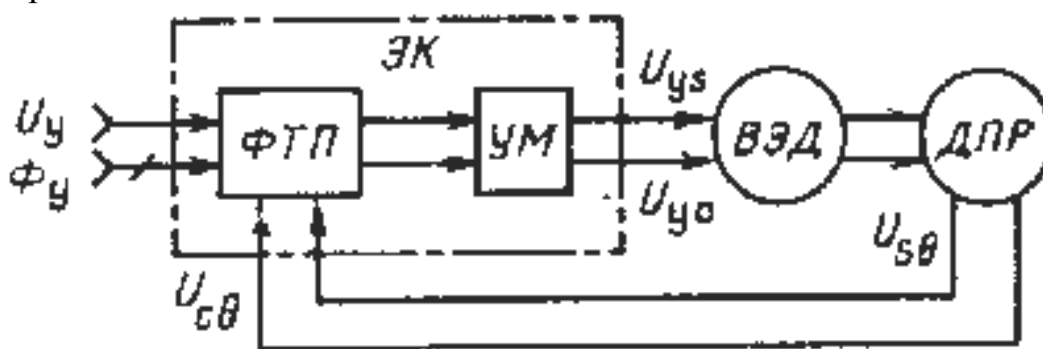


Рис. 2.47

Для ЦСП с повышенными требованиями к точности и равномерности перемещения в безредукторных системах целесообразным является переход к позиционно зависимой коммутации, для реализации которой требуется ЭК, выполненный на основе функционального тригонометрического преобразователя (ФТП), формирующего квазигармонические сигналы управления ВЭД (рис. 2.47). В таком ЭК сочетаются преимущества непрерывного и дискретного способов управления ВЭД в замкнутых ЭМТП для ЦСП.

Изменение амплитуды квадратурных сигналов управления ВЭД  $U_{ys}$  и  $U_{yc}$  производится аналоговым сигналом  $U_y$ . Фазовое управление путем изменения угла коммутации ВЭД производится цифровым сигналом  $\Phi_y$ , формируемым МПС.

Совместное использование МПС, ПЗУ с тригонометрическими прошивками, ЦАП и управляемых источников тока позволяет оперировать с большим числом электрических состояний и формировать токи в обмотках двигателя по законам, обеспечивающим наилучшее приближение действительной траектории движения к заданной. При подходе к управлению через программирование токов никаких принципиальных различий между ВЭД и ШЭД нет.

Однако ШЭД имеют следующие преимущества: фиксацию конечных координат движения при размыкании контура управления и возможность эффективного регулирования угла коммутации.

С внедрением МПС грань между ШЭД и ВЭД с цифровым управлением стирается. Вместе с тем теория, методы и структура дискретных ЭМТП с ШЭД являются общими и наиболее полно отвечают принципам микропроцессорного управления, поскольку не ограничены ни особенностями используемого ЭМТП, ни схемой его включения и изначально базировались на принципе непосредственного управления от ЭВМ путем дискретного изменения конечного числа электрических состояний на его входах.

## **2.4 УСИЛИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭМС.**

### **2.4.1 Исходные данные для проектирования усилителей**

Усилители являются одним из основных звеньев ЭМС и служат для усиления сигнала рассогласования по напряжению и мощности до величины, достаточной для управления исполнительным двигателем и отработки угла рассогласования с необходимой чувствительностью. Известны различные типы усилителей: полупроводниковые, магнитные, электромашинные, релейные и т. д.

В настоящее время в маломощных ЭМС применяются, главным образом, полупроводниковые усилители, обладающие малой массой и габаритами, высокой экономичностью, долговечностью, надежностью. Недостатком полупроводниковых



элементов является зависимость их параметров от температуры, однако он преодолевается различными схемными решениями. Основными методами стабилизации режима и параметров полупроводниковых усилителей являются термокомпенсация и отрицательная обратная связь.

При выборе и проектировании усилителей исходными данными являются:

- параметры источника сигнала - выходное сопротивление измерительного элемента, величина остаточного (нулевого) напряжения, крутизна и начальный фазовый сдвиг входного сигнала;
- параметры нагрузки - тип нагрузки, сопротивление, фазовый сдвиг, потребляемая мощность;
- коэффициент усиления, постоянная времени, стабильность выходного напряжения по амплитуде, фазе;
- структурная схема всего усилительного устройства, способ реверсирования и управления;
- требования, предъявляемые к параметрам корректирующих цепей, параметрам модулятора и демодулятора;
- специальные и эксплуатационные требования.

При расчете следящих систем необходимо иметь величины коэффициента усиления и постоянной времени усилителя. Обычно инерционность усилителя зависит от типа выбранного усилительного устройства. Наименьшей инерционностью обладают полупроводниковые усилители.

#### **2.4.2 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ**

В маломощных ЭМС наибольшее распространение получили усилители с полупроводниковыми транзисторами, обладающими малыми массой и габаритами, высоким КПД, большим сроком службы, малым потреблением энергии, малой постоянной времени.

На практике принято разделять усилители на предварительные каскады и на усилители мощности.

К усилителю мощности предъявляются следующие требования:

- усилитель должен обеспечивать номинальный режим питания обмотки управления двигателя;
- выходное сопротивление усилителя должно быть по возможности малым и выбрано с учетом характеристик двигателя;

- коэффициент усиления по мощности должен быть по возможности большим для получения меньшего коэффициента усиления предварительного усилителя;

КПД усилителя мощности должен быть по возможности большим, так как усилитель является одним из основных потребителей энергии.

Основным видом нагрузки для конечных каскадов усилителей переменного тока является обмотка управления двухфазного индукционного двигателя. Мощность, потребляемая обмоткой управления, состоит из активной и реактивной составляющих, причем только активная составляющая мощности совершает полезную работу, а усилитель должен быть рассчитан на полную мощность. Реактивная составляющая вызывает лишь дополнительный нагрев транзисторов выходного каскада и требует увеличения номинальной мощности этого каскада.

Реактивную составляющую мощности управления можно скомпенсировать путем включения конденсатора параллельно или последовательно с обмоткой управления. Тогда обмотка управления (вместе с конденсатором) будет чисто активной нагрузкой для усилителя.

Мощность управления максимальна в пусковом режиме, т.е. при неподвижном роторе двигателя и максимальном напряжении на обмотке управления. Емкость компенсирующего конденсатора выбирается исходя из параметров цепи управления в пусковом режиме, соответственно и усилитель рассчитывается на выходную мощность, соответствующую пусковому режиму. Мощность, потребляемая обмоткой управления даже маломощных двухфазных двигателей, составляет несколько ватт. Поэтому применение оконечных каскадов в режиме класса А исключается из-за низкого КПД.

Оконечные каскады должны работать в режиме класса В или в режиме переключения (класс Д).

Практические схемы оконечных каскадов в режиме класса В могут быть разнообразными, но наибольшего внимания заслуживают схемы, в которых транзисторы могут быть смонтированы на общем радиаторе, соединенном одним из полюсов источника питания. Это позволяет при питании от бортовой сети не изолировать радиатор от массы (корпуса), что упрощает конструкцию усилителя и повышает его надежность.

Схема такого выходного каскада с трансформаторной связью приведена на рис 2.48.

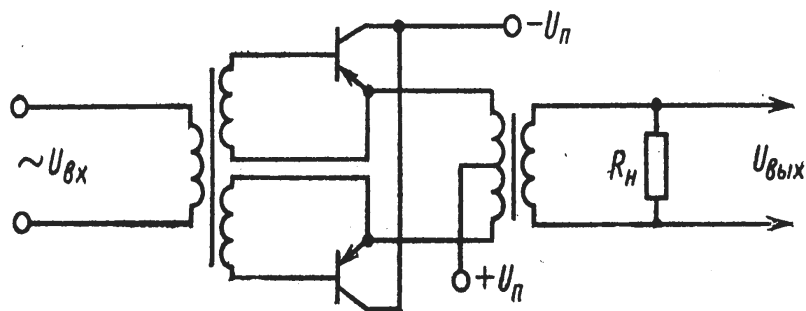


Рис 2.48

Связь оконечного каскада усилителя с обмоткой управления двигателя может быть осуществлена при помощи трансформатора, автотрансформатора или без трансформатора.

Для уменьшения габаритов и массы усилителя всегда предпочтительна бестрансформаторная связь. Необходимость в применении трансформатора или автотрансформатора возникает по причинам:

- несоответствия между максимальным выходным напряжением каскада и требуемым напряжением управления;
- несоответствием между количеством выводов в выходной цепи каскада и количеством выводов обмоток управления.

После выбора схемы каскада и вида связи трансформаторов с обмоткой управления двигателя необходимо выполнить следующие расчеты:

1) выбрать тип трансформатора по допустимому обратному напряжению и допустимому коллекторному току;

2) определить возможность применения данного типа транзисторов на основе энергетического и теплового расчетов. При этом может появиться необходимость в параллельном включении транзисторов. Произвести расчет радиаторов, если они необходимы;

3) по статическим характеристикам определить максимальное напряжение база—эмиттер и ток базы. Эти величины определяют максимальную мощность, потребляемую входной цепью каскада, т.е. являются исходными данными для расчета предоконечного каскада;

4) произвести конструктивный расчет трансформатора или автотрансформатора.

Общий принцип расчета каскадов усилителя заключается в определении амплитуды напряжения и тока выходной цепи исходя из заданной мощности в нагрузке, после чего определяются необходимый режим транзистора и требуемые

амплитуды напряжения и тока во входной цепи каскада. Последние данные являются исходными для расчета выходной цепи предшествующего каскада.

Иногда для получения необходимой постоянной времени усилителя вводятся дополнительные корректирующие контуры.

Назначение каскадов предварительного усиления — усиление слабых колебаний напряжения или тока, поступающих от источника сигнала, до определенной заданной величины. Последняя определяется значением тока или напряжения, которое необходимо подать на вход оконечного каскада для получения заданной мощности в нагрузке.

Каскады предварительного усиления принято классифицировать *по характеру нагрузки* в выходной цепи. Наибольшее применение находят усилители на резисторах. Значительно реже применяются усилители на трансформаторах. *По способу подключения сигнала и нагрузки* к электродам транзистора схемы усилителей подразделяются на схемы: с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором (эмиттерный повторитель).

Схемы предварительных усилителей указанных типов хорошо известны, реализованы в микросхемном исполнении с широкой номенклатурой и описаны в теоретической и справочной литературе по электронике.

На рис. 2.49 приведена схема усилителя переменного тока, работающего на двухфазный двигатель.

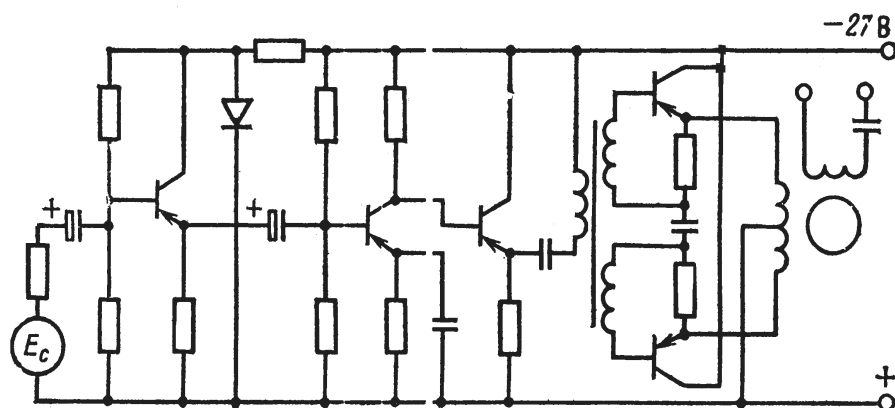


Рис. 2.49

Существенное повышение технического уровня электронной аппаратуры достигается путем ее миниатюризации на основе развития функционально-узлового метода конструирования и использования интегральных микросхем. Благодаря таким достоинствам, как высокая надежность, малые габариты и

энергопотребление, сравнительно невысокая стоимость, производство интегральных схем получило широкое развитие. Переход к широкому применению микросхем в аппаратуре позволил не только повысить качество аппаратуры в целом, но и ускорить сроки ее разработки и изготовления, избежать ряда традиционных неудобств, в том числе настроек и подстроек, свойственных сборке узлов и блоков на навесных элементах.

Интегральная технология позволяет существенно уменьшить физические размеры транзисторов, диодов, резисторов и соединений между ними. Однако это возможно лишь на базе структурной миниатюризации усилителей, которая сводится прежде всего к полному исключению из состава усилителей низкой частоты трансформаторов и к предельному сокращению конденсаторов большой емкости. Иллюстрацией применения принципов структурной миниатюризации усилителей переменного тока может служить схема, приведенная на рис. 2.50.

Принцип построения такого усилителя заключен в соответствующем разделении усилительного тракта во входной цепи на два самостоятельных канала. Каждый канал представляет собой усилитель, управляющий своим транзистором двухтактного выходного каскада. Дифференциальный вход интегрального усилителя позволяет получить необходимые фазовые соотношения на входе оконечного каскада. В этом усилителе, за исключением входной цепи и цепи стабилизации режима интегрального усилителя постоянного тока, отсутствуют какие-либо другие комплексные цепи.

Все элементы схемы, включая и нагрузку, связаны между собой гальванически. Рассматриваемый усилитель предназначен для работы на ряд двигателей от ДГ-0,1 до ДГ-1, размещен в корпусе размером 35\*25\*4 мм.

### **2.4.3 Усилители постоянного тока**

Иногда возникает необходимость в усилении сигналов, изменяющихся весьма медленно. Усилители таких сигналов называются усилителями постоянного тока (УПТ).

Невозможность применения в схеме реактивных элементов создает значительные трудности при построении многокаскадных усилителей, так как исключается емкостная и трансформаторная связи между каскадами. Гальваническая связь между каскадами осуществляется не только для усиливаемого сигнала, но и для

цепей смещения, что затрудняет установление требуемого режима в каждом каскаде.

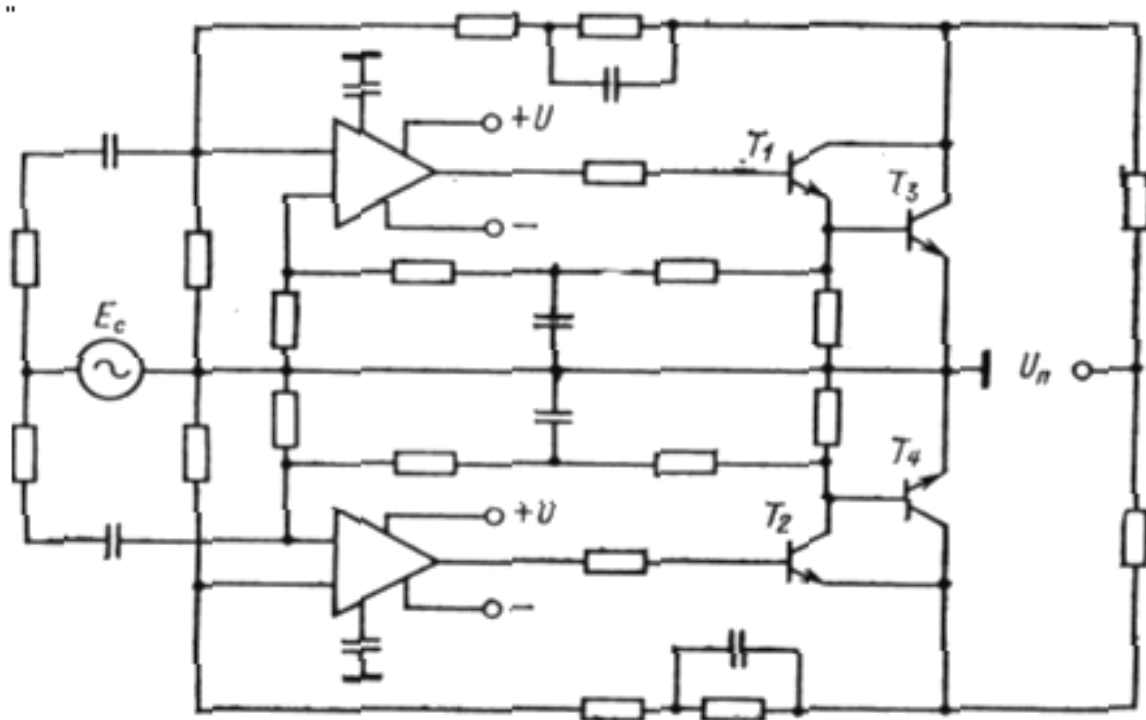


Рис. 2.50

Особенностью УПТ является требование исключительно высокой стабильности режима, так как любое изменение режима воспринимается как изменение сигнала. Основными характеристиками УПТ являются коэффициент усиления по току или напряжению и стабильность режима усилителя.

При отсутствии сигнала напряжение (ток) на выходе усилителя имеет некоторое начальное значение, принимаемое за нулевое. Неконтролируемое изменение этого напряжения, например при изменении температуры, называется *дрейфом нуля*. Стабильность режима УПТ принято оценивать значением дрейфа нуля, приведенного ко входу усилителя. Таким значением считается отношение наибольшего изменения напряжения на нагрузке, обусловленного нестабильностью режима, к коэффициенту усиления усилителя. Дрейф нуля на входе усилителя должен быть значительно меньше напряжения сигнала.

Дрейф бывает временной и температурный. Для уменьшения дрейфа в УПТ с гальваническими связями применяют балансные (дифференциальные) усилители и усилители с

термокомпенсацией. Под термокомпенсацией понимают применение специальных температурно-зависимых схемных элементов, способствующих уменьшению температурного дрейфа. Такими элементами могут быть или термисторы, или полупроводниковые диоды.

В настоящее время в качестве УПТ в основном используются интегральные микросхемы — операционные усилители. Освоенные промышленностью интегральные операционные усилители серий К140, К153, К544 и т.п. имеют смещение нуля, приведенное ко входу, равное единицам милливольт и сотен микровольт по напряжению и десяткам наноампер по току, и незначительный дрейф этих параметров.

В некоторых случаях для снижения смещения нуля и его дрейфа используются схемы УПТ с модуляцией входного сигнала (рис. 2.51).

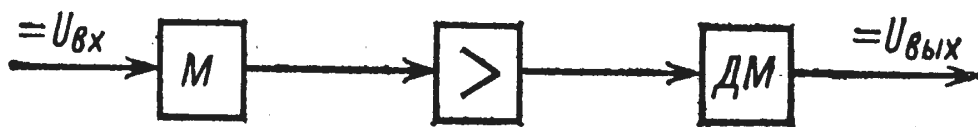


Рис. 2.51

В качестве модуляторов используются в основном интегральные прерыватели, имеющие высокие точностные параметры.

Сигнал постоянного тока преобразуется сначала в пропорциональный ему сигнал переменного тока (с помощью модулятора  $M$ ), потом усиливается усилителем переменного тока, а затем снова преобразуется в сигнал постоянного тока (с помощью демодулятора ДМ).

#### 2.4.4 Электромашинные усилители

Электромашинные усилители (ЭМУ) предназначены для управления двигателями постоянного тока. Простейший ЭМУ является генератором постоянного тока с независимым возбуждением, якорь которого вращается приводным электродвигателем постоянного или переменного тока. Напряжение управления подается к обмотке возбуждения (рис. 2.52), а выходное напряжение снимается со щеток якоря. При постоянной скорости вращения якоря генератора, если пренебречь индуктивностью якоря, будет справедливо уравнение

$$i_m = k_i * i_y$$

Для обмотки возбуждения генератора можно написать следующее уравнение:

$$U_y = L_y \cdot di_y / dt + R_y \cdot i_y,$$

где  $L_y$ ,  $R_y$ —индуктивность и сопротивление обмотки возбуждения.

Так как  $U_n = R_u \cdot t_u$ , то  $i_y = U_n / R_n \cdot k_i$ . Тогда будем иметь

$$T_y \cdot dU_n / dt + U_n = k_y \cdot U_y,$$

где  $T_y = L_y / R_y$  — постоянная времени ЭМУ;

$k_y = R_n \cdot k_i' / R_y$  — коэффициент усиления по напряжению.

Таким образом, передаточная функция ЭМУ

$$W(p) = u_n / u_k = k_y / (T_y \cdot p + 1).$$

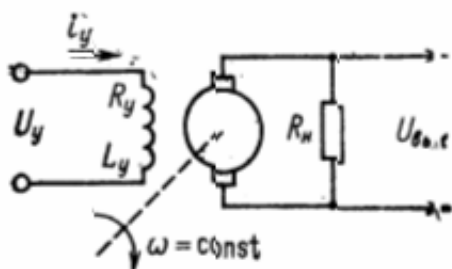


Рис. 2.52

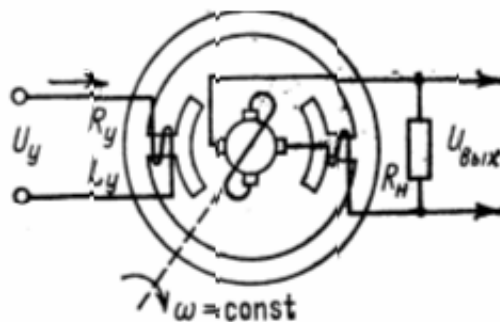


Рис. 2.53

Рассмотренный ЭМУ имеет малый коэффициент усиления и применяется редко.

Наибольшее применение имеет ЭМУ с поперечным полем, который представляет собой коллекторный генератор постоянного тока с дополнительной парой поперечных короткозамкнутых щеток (рис. 2.53). При прохождении тока в обмотке возбуждения создается магнитный поток  $\Phi_e$ , в результате чего в короткозамкнутой обмотке якоря возникает усиленный ток, создающий поперечный магнитный поток реакции якоря. При вращении якоря в поле этого поперечного потока со щеток снимается выходное напряжение усилителя на нагрузке  $R_n$ . Ток, протекающий в цепи нагрузки, создает магнитный поток реакции якоря, который уменьшает действие потока  $\Phi_e$ , а следовательно, и коэффициент усиления усилителя. Для компенсации потока реакции в усилителе применяется компенсирующая обмотка, включенная в цепь нагрузки.

#### 2.4.5 Тиристорные преобразователи

В настоящее время для управления мощными двигателями постоянного и переменного тока (от 1 до 100 кВт и выше) широко применяются тиристорные (вентильные)



преобразователи, которые заменяют, в частности, электромашинные усилители в системах электропривода и в следящих системах.

Тиристорный преобразователь представляет собой нелинейную дискретную импульсную систему, в которой устройство фазового управления является импульсным элементом, преобразующим непрерывную функцию входного управляющего сигнала в дискретную функцию моментов открывания тиристорov. Широкое применение тиристорных преобразователей обусловлено следующими важнейшими свойствами, которыми обладают тиристоры:

- высокой удельной мощностью (на единицу массы или объема);
- малыми внутренними потерями, т.е. высоким КПД;
- широким диапазоном рабочих температур (-от  $-40$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ );
- отсутствием вращающихся или изнашивающихся частей; бесшумностью, мгновенной готовностью к работе;
- малым временем отпирания и восстановления запирающих свойств;
- высоким коэффициентом усиления по мощности.

Рассмотрим изменения кривых тока и напряжения в схеме рис. 2.54.

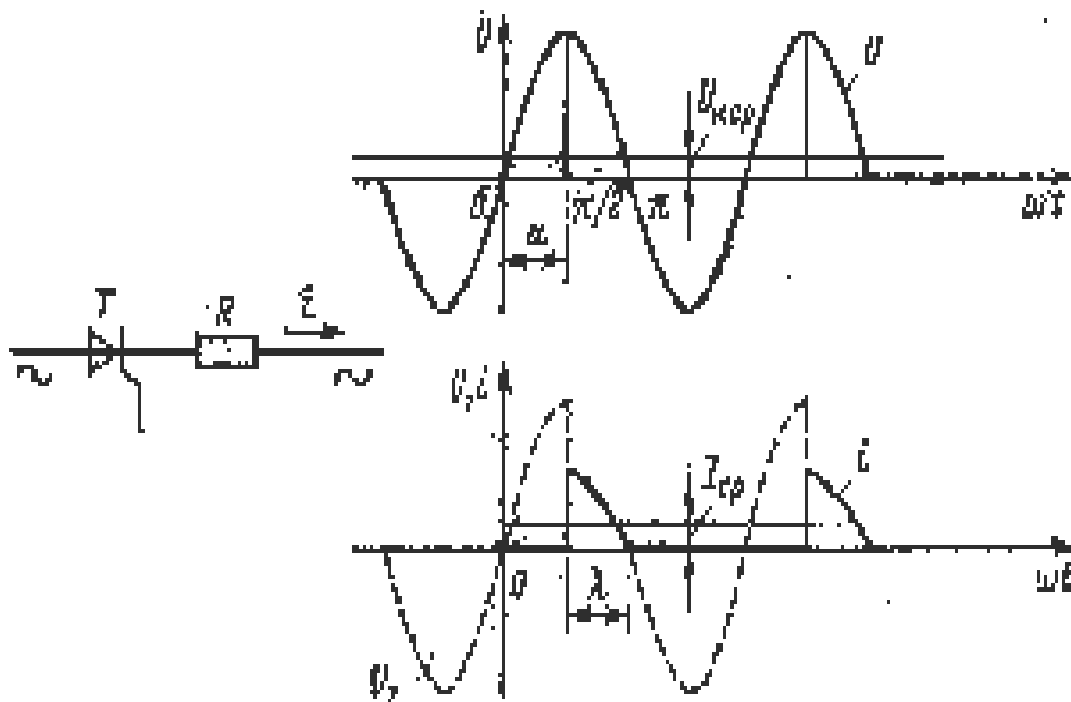


Рис. 2.54

При отсутствии управляющего напряжения тиристор блокирован в обоих направлениях и находится под действием полного переменного напряжения. При подаче импульса управляющего напряжения тиристор проводит ток только в течение положительной полуволны.

На рис. 2.54 включение тиристора осуществлено в момент  $\omega \cdot t = \pi/2$ , т.е. в середине положительной полуволны питающего напряжения. Будем считать напряжение на тиристоре в проводящем направлении пренебрежимо малым. При этом допущении на рис. рис. 2.54 изображены следующие характеристики: напряжение  $U$  на сопротивлении нагрузки  $R$ , среднее значение этого напряжения  $U_{н.ср}$ , напряжение на тиристоре  $U_m$ , ток через тиристор  $i$  и его среднее значение  $I_{ср}$ .

Очевидно, что, изменяя момент включения  $\omega \cdot t$  или угол  $\alpha$ , отсчитываемый в данном случае от начала положительной полуволны питающего напряжения, можно регулировать среднее значение тока (напряжения) через нагрузку.

Устройство, которое изменяет угол включения тиристоров в зависимости от уровня входного управляющего напряжения, называется *фазоимпульсным устройством* или *системой фазового управления*. Для того чтобы получить на выходе более сглаженную кривую выпрямленного напряжения, применяют многофазные схемы.

В схемах управления тиристорами сигнал управления сравнивается с линейно нарастающим опорным напряжением и в момент их равенства формирователь импульса выдает импульс заданной длительности, необходимой для включения тиристора. В качестве источника опорного напряжения наибольшее распространение получили генераторы пилообразного напряжения, в которых для согласования фазы и частоты следования управляющих импульсов опорное напряжение синхронизируется напряжением питания.

На рис. 2.55 приведены схема и диаграммы напряжения и тока при запуске тиристора (в трехфазном преобразователе), подключенного к одной фазе.

В многофазных преобразователях происходит переключение тиристорov, т.е. поочередное включение тиристорov в порядке следования фаз питающего напряжения.

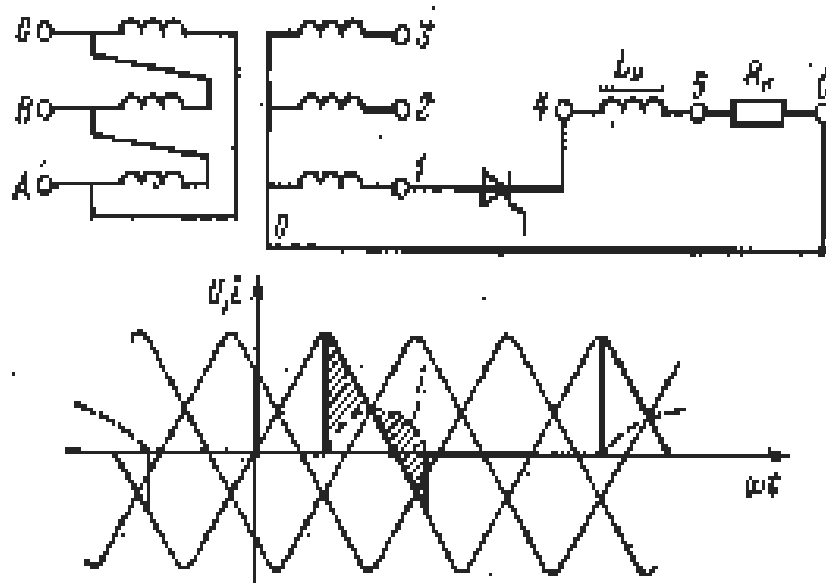


Рис. 2.55

Основное назначение тиристорного преобразователя (ТП) в системах реверсивного и нереверсивного электроприводов постоянного тока заключается в преобразовании переменного напряжения питающей сети в регулируемое постоянное напряжение для питания цепей якоря и обмотки возбуждения электрических машин в функции входного управляющего сигнала.

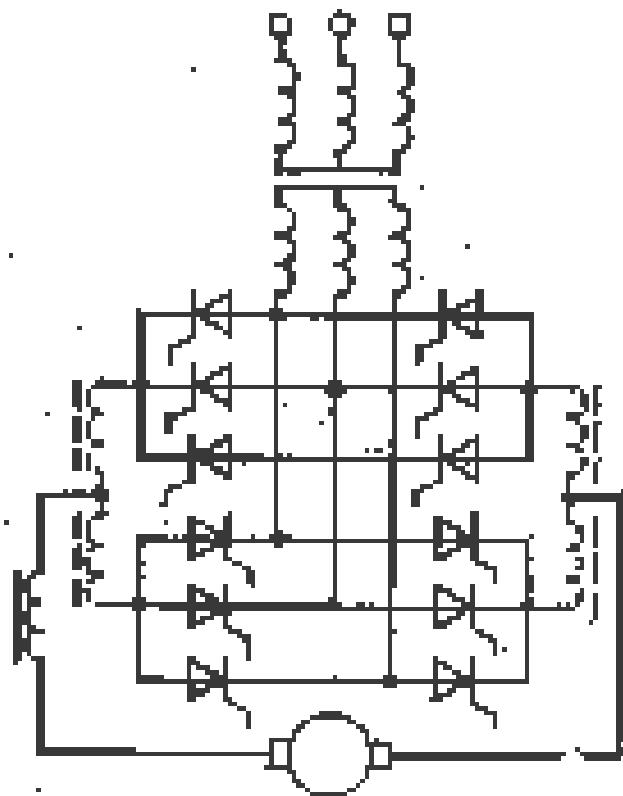


Рис. 2.56

На рис. 2.56 представлена схема управления двигателем постоянного тока. Наличие индуктивности в главной цепи вызывает рост приведенной электромагнитной постоянной времени двигателя, т.е. постоянная времени дросселя суммируется с собственной электромагнитной постоянной времени двигателя, что в конечном итоге увеличивает инерционность привода.

При раздельном управлении отсутствуют уравнивающие токи, так как в данный момент времени работает только одна группа тиристоров.

Устройство, обеспечивающее раздельное управление группами тиристорного преобразователя, содержит датчики состояния тиристоров и логическое переключающее устройство.

Тиристорный преобразователь является сложным нелинейным импульсным элементом, имеющим нестандартную форму выходного импульса (часть синусоиды) и осуществляющим сложную модуляцию выходных импульсов — нечто среднее между широтно-импульсной и амплитудно-импульсной модуляцией.

#### **2.4.6 Модуляторы**

К преобразовательным элементам усилителей следящих систем относятся модуляторы и демодуляторы. Модуляторы предназначены для преобразования медленно меняющихся сигналов постоянного тока, получаемых от измерительных устройств, в напряжение переменного тока, амплитуда которого пропорциональна мгновенным значениям напряжения сигнала, а фаза изменяется на  $180^\circ$  при изменении полярности напряжения сигнала.

Модулятор представляет собой нелинейный шестиполюсник, основным элементом которого является прерыватель, т.е. устройство, внутреннее сопротивление которого изменяется в определенных пределах с частотой коммутирующего (опорного) напряжения. В качестве прерывателей в модуляторах, применяемых в следящих системах, используют полупроводниковые диоды и транзисторы, электромагнитные вибраторы, магнитные усилители, фотодиоды и фоторезисторы и т.д. Простейшим модулятором электромеханического типа является вибрационный преобразователь, который представляет собой поляризованную электромагнитную систему с катушкой, якорем и неподвижными контактами. Катушка питается

переменным током, якорь вибрирует с частотой источника питания и замыкает контакты. В настоящее время применяются редко.

Для схем модуляторов и демодуляторов широко применяются полупроводниковые ключи, обладающие по сравнению с вибропреобразователями и магнитными усилителями рядом положительных свойств: малыми габаритами и массой, большим сроком службы, возможностью изготовления из серийных элементов и т.д.

Схемы модуляторов на полупроводниковых элементах можно разделить на одно- и двухполупериодные. Простейшая однополупериодная схема модулятора на полупроводниковых диодах показана на рис. 2.57.

Достоинством однополупериодного модулятора является простота; недостатком являются малый коэффициент передачи, значительные амплитуды высших гармоник на выходе схемы и переменный характер нагрузки на источник напряжения несущей частоты.

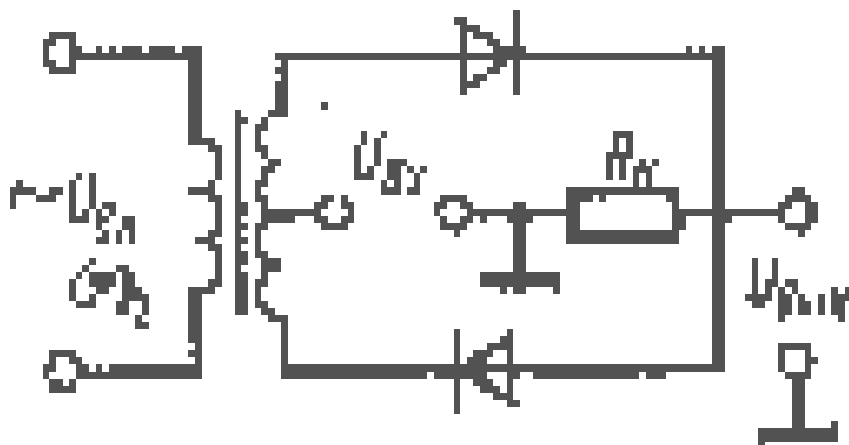


Рис. 2.57

Для получения большого коэффициента передачи применяются двухполупериодные модуляторы. На рис. 2.58 приведена схема кольцевого диодного модулятора. Подключая в этой схеме к обмоткам выходного трансформатора конденсатор, можно образовать контур для выделения основной гармоники в выходном напряжении. В кольцевой схеме в течение каждого полупериода опорного напряжения работают по два диода. Коэффициент преобразования такой схемы в 2 раза выше, чем однополупериодной, и равен примерно 0,9.

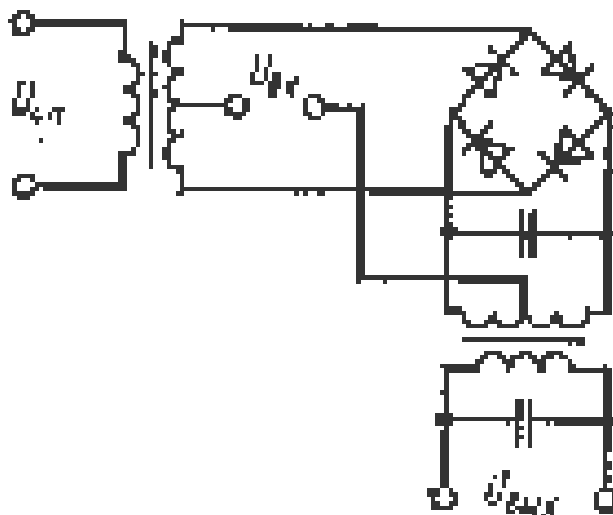


Рис. 2.58

Модуляторы на диодах можно использовать для преобразования напряжений достаточно высокого уровня (начиная от десятков милливольт). Они обладают дрейфом нуля, вызываемым нестабильностью характеристик диодов во времени под действием температуры и питающего напряжения. Однако применение высокостабильных кремниевых диодов позволяет уменьшить дрейф. В частности, кольцевой модулятор на кремниевых диодах является одним из самых надежных и стабильных модуляторов, применяемых в следящих системах.

В следящих системах применяются также модуляторы на полупроводниковых транзисторах, которые могут использоваться как в усилительном режиме, так и в режиме переключения. В первом случае модуляторы обладают значительным дрейфом нуля и небольшим входным сопротивлением, что ограничивает их применение. Во втором случае схемы модуляторов обладают большой линейностью и температурной стабильностью характеристик.

На рис. 2.59, а и б приведены схемы соответственно одно- и двухполупериодных транзисторных модуляторов такого рода.

В качестве транзисторных ключей используются в настоящее время в основном микросхемы — интегральные прерыватели, имеющие высокие точностные параметры (малые значения остаточного напряжения и тока, незначительный дрейф).

В следящих системах применяют также магнитные модуляторы с выходом на основной частоте. Достоинством магнитных модуляторов является возможность суммировать большое количество модулируемых напряжений и выполнять модуляторы с большим порогом чувствительности и большим

коэффициентом передачи. Недостатки их заключаются в существенной несинусоидальности выходного напряжения и значительных габаритах и массе.

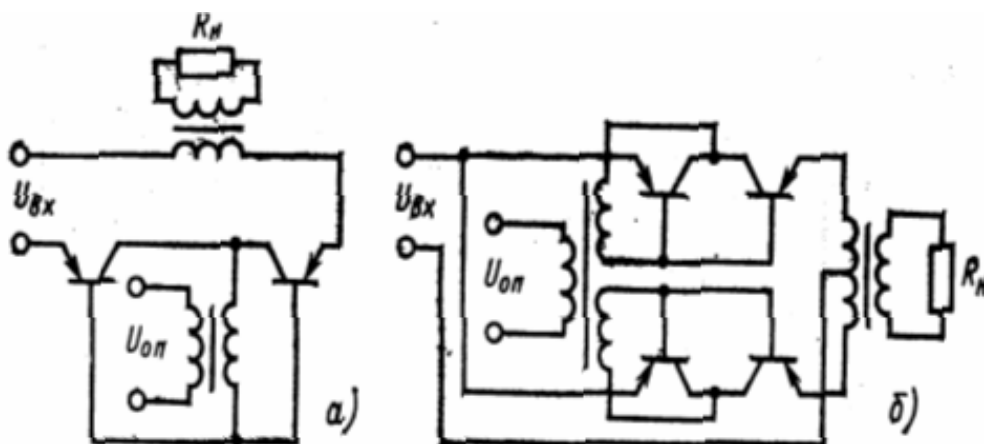


Рис. 2.59

#### 2.4.7 Демодуляторы

В следящих системах демодуляторы служат для фазозависимого выпрямления сигнала. Демодуляторы применяются для осуществления стабилизации системы с помощью корректирующих цепей постоянного тока, для разгрузки усилительного тракта от действия квадратурной составляющей несущей частоты, для уменьшения погрешностей системы от действия этой составляющей.

Основными параметрами демодуляторов являются:

- значение коэффициента передачи и зависимость его от амплитуды сигнала,
- содержание высших гармоник на выходе демодуляторов,
- дрейф нуля,
- входное и выходное сопротивления,
- инерционность и т. д.

Под коэффициентом передачи демодулятора понимают отношение постоянной составляющей его выходного напряжения к действующему значению сигнала несущей частоты на входе.

Применяемые в следящих системах демодуляторы делятся на фазочувствительные выпрямители и фазочувствительные усилители, а в зависимости от схем исполнения могут быть подразделены на диодные и транзисторные, на одно-, и двухполупериодные. Фазочувствительные выпрямители служат

для демодуляции без усиления сигнала по мощности, а фазочувствительные усилители — с усилением сигнала.

Схема простейшего выпрямительного однополупериодного демодулятора приведена на рис. 2.60. Если входной сигнал равен нулю, то ток по нагрузке протекает лишь в течение одного полупериода опорного напряжения, причем падения напряжения на нагрузочных резисторах  $R_{н1}$  и  $R_{н2}$  равны по значению и противоположны по знаку, вследствие чего выходное напряжение демодулятора равно нулю.

Если входной сигнал не равен нулю и находится в фазе с опорным напряжением, то падение напряжения на сопротивлении  $R_{н1}$  превосходит по значению падение напряжения на сопротивлении  $R_{н2}$ . При изменении фазы сигнала на  $180^\circ$  полярность выходного напряжения демодулятора также меняется на противоположную.

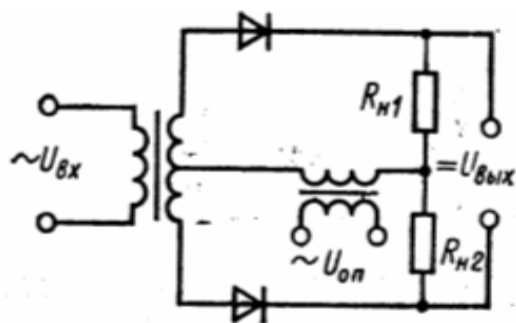


Рис. 2.60

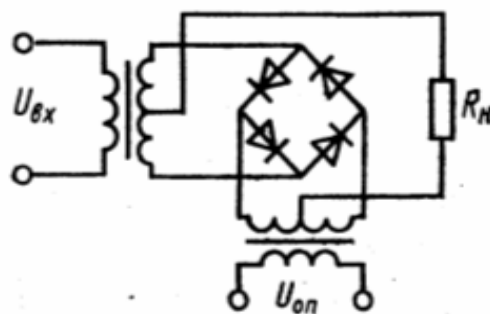


Рис. 2.61

В качестве двухполупериодных выпрямительных демодуляторов используются обычно диодные кольцевая и мостовая схемы демодуляторов. На рис. 2.61 представлена первая из этих схем.

Широкое распространение в выпрямительных демодуляторах получили также полупроводниковые транзисторы, работающие в режиме переключения. Такие схемы обеспечивают высокую линейность характеристики даже при очень малых напряжениях сигнала. На рис. 2.62 приведена схема двухполупериодного выпрямительного демодулятора, обеспечивающая высокую линейность характеристики преобразования, стабильность нуля и коэффициент передачи при активной нагрузке, равный 0,6—0,7.

На рис. 2.63 приведена схема двухполупериодного демодулятора, выполненного на микросхемах — операционном усилителе и интегральном прерывателе.



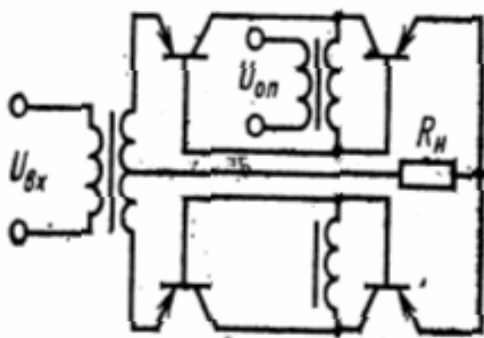


Рис. 2.62

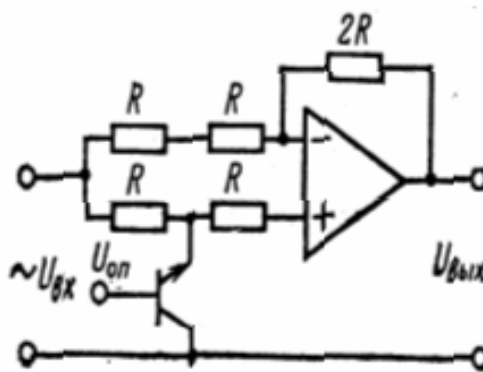


Рис. 2.63

## 2.5 ТРЕНИРОВОЧНОЕ ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ 2

- Основные разновидности исполнительных элементов ЭМС.
- Основные особенности устройства, функционирования и характеристик двухфазных индукционных двигателей.
- Основные особенности устройства, функционирования и характеристик двигателей постоянного тока с независимым возбуждением.
- Определение передаточной функции исполнительного двигателя.
- Основные типы ШЭД и особенности их устройства и функционирования.
- Основные особенности устройства и функционирования ВЭД.
- Основные типы измерительных элементов, применяемых в ЭМС, и их назначение.
- Контактные датчики электромашинного типа. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Следящие трансформаторы. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Микросины. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Рамочные датчики угла. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Линейные вращающиеся трансформаторы. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Сельсины. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.

- Потенциометрические датчики. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Емкостные датчики. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Тахогенераторы постоянного тока. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Тахогенераторы переменного тока. Назначение, устройство, функционирование, характеристики.
- Коммутаторы исполнительных двигателей. Назначение, основные типы, требования.
- Основные принципы устройства, включения и функционирования транзисторных ЭК для управления ШЭД.
- Основные принципы устройства, включения и функционирования транзисторных ЭК для управления ВЭД.
- Основные принципы устройства, включения и функционирования ЭК для управления в микросхемном исполнении.
- Основные принципы устройства, включения и функционирования полирежимных ЭК для управления ШЭД и ВЭД.
- Основное назначение, разновидности и общий алгоритм функционирования УПУ.
- Основные требования, предъявляемые к усилителям мощности.
- Схема усилителя мощности с трансформаторной связью.
- Схема усилителя мощности с гальванической связью.
- Схемы УПТ с модуляцией входного сигнала.
- Электромашинные усилители. Назначение, разновидности и общий алгоритм функционирования.
- Тиристорные преобразователи. Назначение, разновидности и общий алгоритм функционирования.
- Модуляторы. Назначение, разновидности и общий алгоритм функционирования.
- Демодуляторы. Назначение, разновидности и общий алгоритм функционирования.

### 3. СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ РЕАЛЬНЫХ ЭМС.

#### 3.1 ДИСКРЕТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

По виду представляемой и обрабатываемой информации дискретные электроприводы (ДЭП) бывают цифровые и импульсные, а по принципу управления - разомкнутые, замкнутые и комбинированные. ДЭП с электродвигателями постоянного тока (ЭДПТ) строятся только по замкнутой схеме, с главной обратной связью по скорости (приводы регулируемой скорости) и по положению выходного звена (приводного положения), а также с внутренними контурами обратной связи.

По способу связи с ЭВМ дискретные электроприводы подразделяются на автономные и неавтономные. Те и другие могут иметь пропорциональное и релейное управление.

На рис 3.1. приведена функциональная схема автономного ДЭП. В автономном ДЭП по заданной командной информации, откорректированной в вычитающем устройстве (ВУ) сигналом обратной связи, снимаемым с датчика (Д), устройство усиления - преобразования (УПУ) управляет скоростью и (или) положением выходного звена исполнительного механизма (ИМ) с помощью двигателя (М).

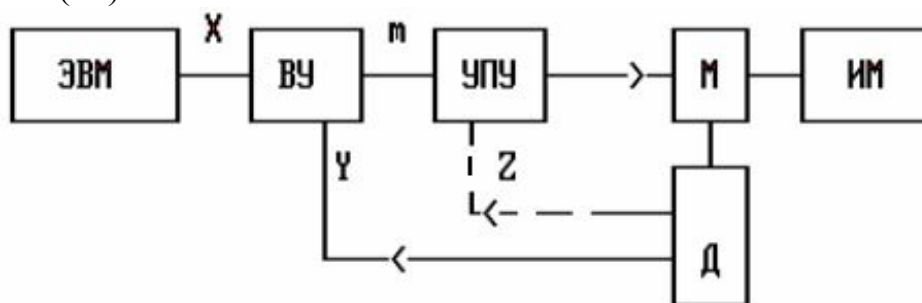


Рис.3.1

В неавтономном ДЭП сравнение задающего -  $X$  и обрабатывающего  $Y$  кодов происходит в ЭВМ.

Преимущество автономных ДЭП заключается в гораздо более высокой частоте сравнения кодов  $X$  и  $Y$  в них, что обеспечивает более высокую точность привода при менее жестких требованиях к узлам.

В настоящее время применяется преимущественно релейный (импульсный) принцип управления исполнительным ЭДПТ,

основанный на амплитудно-импульсной (АИМ), или на частотно-импульсной (ЧИМ), или на фазо-импульсной (ФИМ), или на время-импульсной (ВИМ), или на широтно-импульсной (ШИМ) модуляции управляющего сигнала. При этом на ЭДПТ подается последовательность одно- или двухполярных импульсов управления с амплитудой, равной номинальному напряжению питания двигателя и длительностью, пропорциональной управляющему сигналу. Такой способ позволяет повысить КПД системы управления.

Механические характеристики ЭДПТ при импульсном способе регулирования существенно зависят от характера протекания тока в цепи ротора. Обеспечение неизменной жесткости механической характеристики достигается только при условии непрерывности тока в цепи ротора. При этом импульсное управление ЭДПТ эквивалентно непрерывному управлению от генератора с изменяемой ЭДС:  $U = Y * U_{num}$ , где  $Y$  - скважность импульсов, питающих цепь ротора ЭДПТ;  $U_{num}$  - напряжение источника питания. Характер тока ротора при импульсном способе в цепи ротора определяется схемой выходного каскада УПУ и частотой следования импульсов.

Для обеспечения непрерывности тока ротора и получения минимальных дополнительных потерь мощности следует применять мостовые схемы выходного каскада УПУ, обеспечивающие режим динамического торможения двигателя в промежутках между импульсами.

Частота коммутации может быть постоянной только при использовании ШИМ, при которой управление двигателем осуществляется за счет изменения скважности импульсов при постоянной частоте их следования.

Применение ШИМ позволяет также обеспечить заданный динамический диапазон регулирования скорости, реверс ЭДПТ, режим динамического торможения. При этом используется свойство ЭДПТ изменять направление вращения при изменении полярности среднего значения тока в цепи ротора, а также свойство обратимости ЭДПТ в генератор постоянного тока, когда его ротор вращается по инерции, т.е., если вращающийся по инерции ЭДПТ замкнуть на низкоомную нагрузку, происходит его торможение, и чем выше ток в этой нагрузке, тем интенсивнее торможение.

Функциональная схема УПУ с ШИП приведена на рис.3.2. Здесь ШИП - широтно-импульсный преобразователь напряжения в

скважность импульсов  $Y$ . ГТИ - генератор тактовых импульсов, СУ - схема управления силовыми ключами СК1-СК4 выходного мостового каскада, содержащего ЭДПТ.

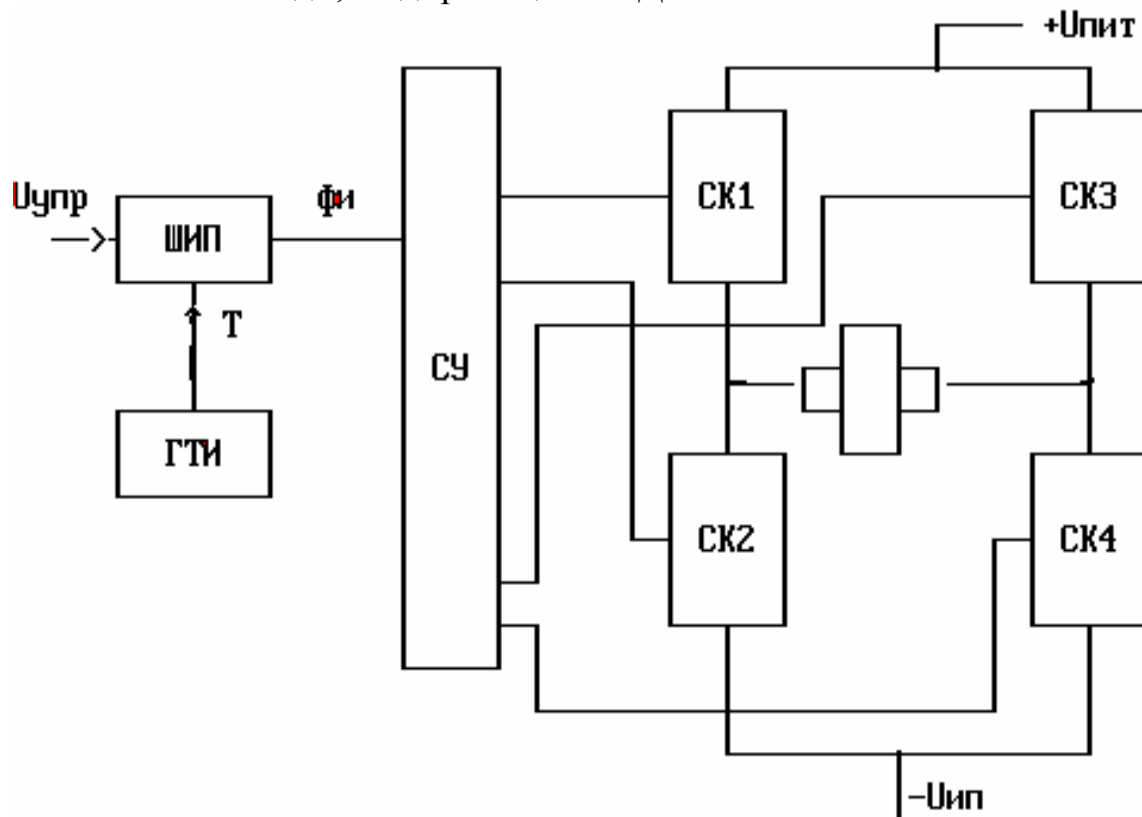


Рис.3.2

Наиболее простым способом управления ШИП по цепи ротора является симметричный, при котором напряжение на выходе ШИП представляет собой знакопеременные импульсы, длительность которых регулируется входным сигналом  $U_{упр}$ . В ШИП с симметричным управлением при  $Y=t_u/T=0.5$ , где  $t_u$  - длительность импульса,  $T$  - период следования импульсов, среднее напряжение на роторе и средний ток через него равны нулю.

Временные диаграммы работы такого ШИП приведены на рис.3.3-а) и 3.3-б). Из них видно, что в один полупериод открыты ключи СК1, СК4, а в другой - СК2, СК3.

Симметричный способ управления обычно используют в маломощных приводах постоянного тока. Его преимущество - простота реализации и отсутствие зоны нечувствительности в регулировочной характеристике. Недостаток - знакопеременное напряжение на ЭДПТ и повышение пульсации тока в его роторе.

Несимметричное управление ЭДПТ, временные диаграммы которого приведены на рис 3.3 б), в некоторой степени снижает

недостатки симметричного способа. Здесь при одном направлении вращения ЭДПТ управляются ключи СК1, СК2. На время  $\phi u T$  размыкается ключ СК1 и замыкается ключ СК2, а в интервале  $(T - \phi u T)$  замыкается ключ СК1 и размыкается СК2. При этом ключ СК4 постоянно разомкнут, а СК3 замкнут. В интервале  $(T - \phi u T)$  обеспечивается протекание тока ротора от ЭДС ЭДПТ (в это время он работает как генератор) через открытые ключи СК1, СК3, что способствует торможению двигателя. При другом направлении вращения ЭДПТ производится управление ключами СК3, СК4. Ключ СК1 постоянно замкнут, СК2 - разомкнут, полярность импульсов тока через ротор ЭДПТ изменяется.

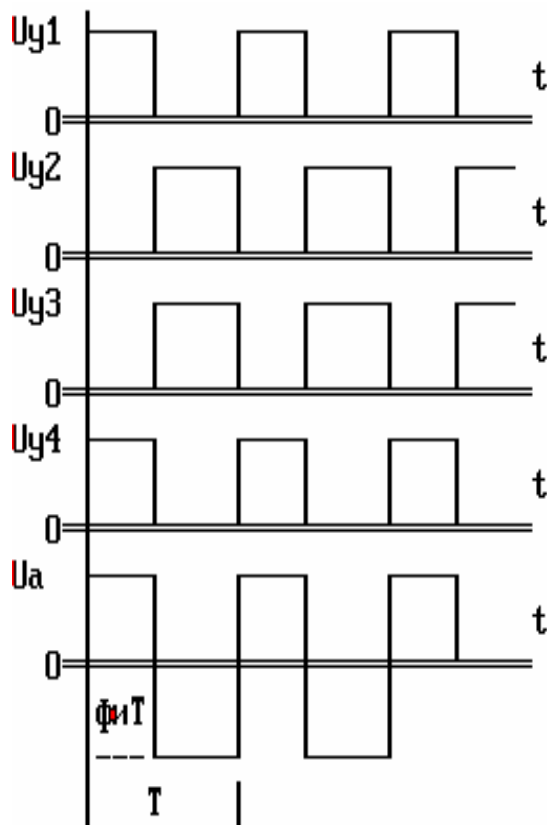


Рис 3.3-а)

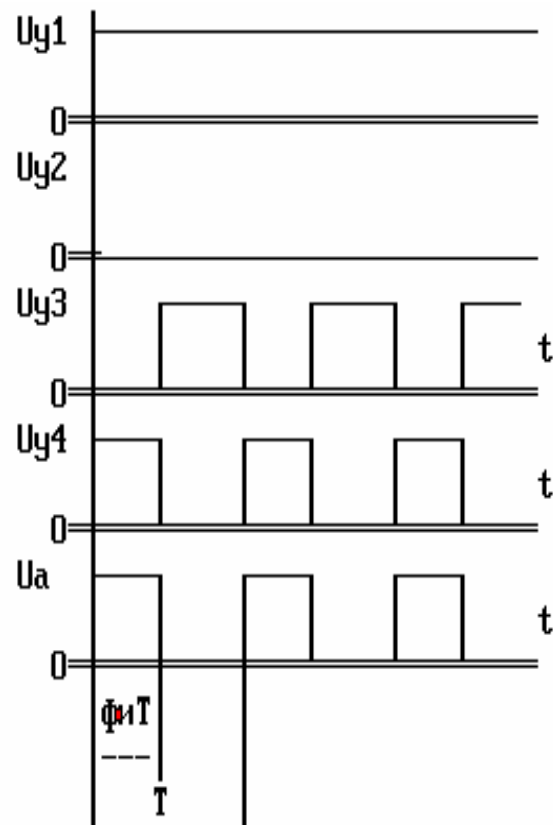


Рис 3.3-б).

Недостатком несимметричного способа является наличие зоны нечувствительности при  $\phi u = 0$ , когда напряжение на входе двигателя

$$U_d = \phi u \cdot U_{пит} = 0.$$

При проектировании таких электроприводов следует учитывать особенности ЭДПТ как нагрузки в мостовой схеме. ЭДПТ в данном случае может быть представлен в виде

эквивалентного последовательного соединения активного сопротивления цепи ротора  $R_p$ , индуктивности  $L_p$  ротора и ЭДС самоиндукции  $e_p$ .

Индуктивность  $L_p$  обуславливает непрерывный характер изменения тока ротора (индуктивность - интегрирующее звено), но ЭДС самоиндукции, возникающая в моменты переключения, существенно влияет на характер процессов в транзисторных силовых ключах и должна быть учтена при разработке их схем.

Наличие противоЭДС также сказывается на характере работы силовых ключей. При разгоне ЭДПТ в начальный момент времени противоЭДС  $e_p = 0$ , и в цепи ротора протекает пусковой ток.  $I_{pn} = U_{np} / R_p$ , который затем уменьшается до номинального значения за счет появления противоЭДС  $e_p \ll 0$ . Пусковые режимы ЭДПТ характерны для работы электроприводов, и расчет силовых ключей должен производиться с учетом пусковых токов как рабочих.

При резком реверсе двигателя, вращающегося с максимальной частотой, противоЭДС  $e_p$ , значение которой достигает напряжения питания, складывается с напряжением источника питания, в результате чего ток в цепи ротора и силовых ключей возрастает до удвоенного значения  $I_{pn}$  и затем уменьшается до номинального значения. Такое увеличение тока может оказаться неприемлемым по различным причинам, и поэтому в схему обычно вводятся токоограничивающие элементы, срабатывающие при достижении тока ротора предельных значений.

В качестве датчиков обратной связи в автономных ДЭП регулируемой скорости с ЭДПТ часто используются тахогенераторы постоянного тока, которые представляют собой машину-генератор, ЭДС которой пропорциональна скорости вращения ее якоря. В связи с этим к тахогенераторам предъявляют ряд требований: линейность характеристики, большая крутизна характеристики, минимальные пульсации выходного напряжения, малый момент инерции ротора, малые габариты и масса. Их обычно выполняют как маломощные генераторы с независимым возбуждением или с магнитоэлектрическим возбуждением от постоянных магнитов.

Такой привод можно выполнить как автономный ДЭП регулируемой скорости с тахогенератором постоянного тока в цепи обратной связи. В связи с тем, что такой датчик обратной связи выдает аналоговую величину - напряжение постоянного

тока, пропорциональное скорости вращения, структурная схема (рис. 3.1) может быть модифицирована - между выходом ЭВМ и входом ВУ устанавливаются ЦАП, а вычитающее устройство (ВУ) выделяет разностное аналоговое напряжение, управляющее ШИП, к выходу которого подключена схема управления (СУ), управляющая двигателем через мостовую схему, построенную на силовых ключах СК1-СК4. Функциональная схема такого привода приведена на рис.3.4.

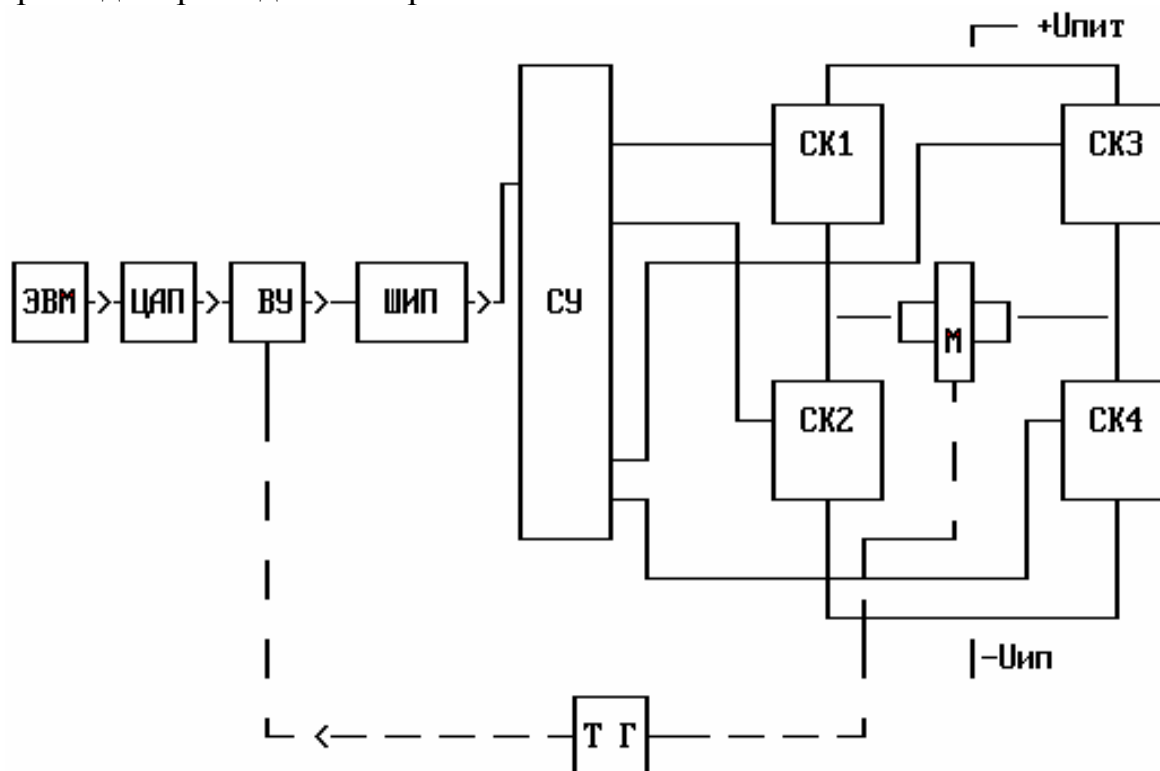


Рис.3.4

Рассмотрим особенности построения и функционирования ШИП.

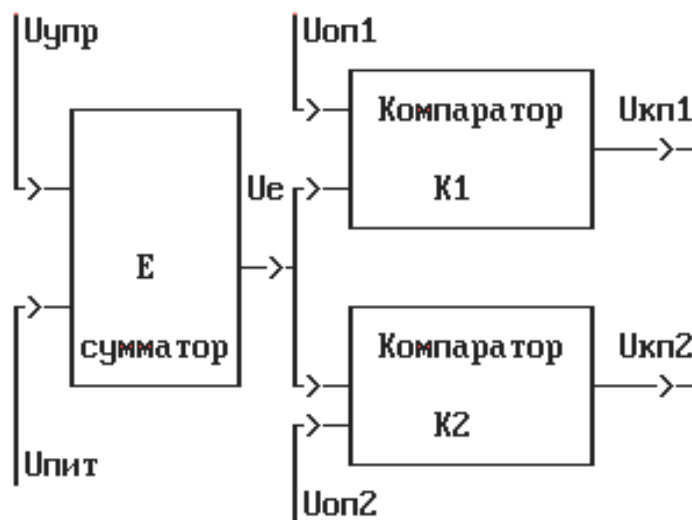


Рис.3.5



ШИП обычно имеет два входа, на один из которых поступает управляющий аналоговый сигнал - разность  $X - Y$ , а на другой - периодический пилообразный сигнал с ГТИ. На изменение знака входного управляющего сигнала ШИП реагирует либо изменением полярности импульсной последовательности, либо наличием импульсной последовательности на одном из двух выходов.

При несимметричном импульсном способе управления используется ШИП с двумя выходами (рис 3.5). Здесь  $U_{ynp}$  - входное управляющее напряжение,  $U_{нул}$  - симметричный пилообразный сигнал с периодом  $T_u$  амплитудой  $U_{ну}$  - поступают на входы суммирующего устройства Е. Выходной сигнал сумматора  $U_e$  подается на вход двух компараторов К1 и К2, уровни срабатывания которых  $U_{он1} > 0$  и  $U_{он2} < 0$ . Значения напряжения срабатывания компараторов  $U_{он1}$  и  $U_{он2}$  устанавливаются в соответствии с диаграммой выходного напряжения  $U_e$  при  $U_{ynp} = a$ , т.е.  $|U_{он1}| = |U_{он2}| = U_{ну}$ . В этом случае при  $U_{ynp} = 0$  состояние компараторов К1 и К2 не изменяется в течение всего периода  $T$  пилообразного напряжения, и на выходах ШИП - нулевое напряжение. При  $U_{ynp} < 0$  симметрия напряжения  $U_e$  относительно оси  $t$  нарушается, что приводит к срабатыванию одного из компараторов. При  $U_{ynp} > 0$  импульсы  $t_u$  выдает К1, а при  $U_{ynp} < 0$  - К2. Ширина импульсов  $t_u$  пропорциональна напряжению  $U_{ynp}$ , а скорость вращения двигателя пропорциональна  $t_u$ .

## 3.2 ЭМТП С ШАГОВЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

### 3.2.1 Базовые структуры

Традиционные построения ЦСП базируются на использовании непрерывных замкнутых ЭМТП, которые получили широкое распространение в технике преобразования цифровой информации в перемещение. Вопросам проектирования и особенностям работы устройств этого класса уделено значительное внимание, меньшее отражение в литературе получили вопросы проектирования ЭМТП с ШЭД, которые позволяют решать аналогичные задачи более эффективно. Поэтому определенный интерес представляют особенности их применения в ЦСП для преобразования цифровой и аналоговой информации в перемещения.

В зависимости от способа задания и преобразования входной информации ЦСП с ШЭД разделяются на разомкнутые и замкнутые.

Первые предусматривают непосредственное преобразование цифровых кодов ЭВМ в перемещение без применения контуров главной обратной связи, т.е. являются ЦСП прямого преобразования. Вторые предусматривают применение контура обратной связи по преобразуемому параметру, причем этот контур может быть аналоговым, импульсным или цифровым. При этом следует учитывать, что ЭМТП с ШЭД может быть разомкнутым или замкнутым, т.е. может иметь местные локальные обратные связи.

Использование цифровых ЭВМ при управлении сложными процессами, например движением звеньев ПР, позволяет контролировать поведение системы одновременно по большому числу параметров. Кодовые сигналы, вырабатываемые на основе всей полученной информации, непосредственно преобразуются ШЭД в перемещение исполнительного органа, что позволяет повысить надежность и быстродействие комплекса в целом при существенном снижении стоимости органов управления и упрощении структурной схемы. Последнее обстоятельство в ряде случаев имеет решающее значение, так как синтез многоэлементных САУ с развитыми цепями обратных связей и анализ их помехозащищенности и устойчивости связаны с большим объемом работ.

Синтез разомкнутой САУ сводится к выбору стандартных элементов этой системы электронного коммутатора (ЭК) ШЭД и ПМ на основе критериев устойчивости, быстродействия и точности. Методы синтеза разомкнутых САУ с ШЭД достаточно полно разработаны и доведены до уровня инженерной практики.

Разомкнутый ЭМТП с ШЭД воспринимает импульсную информацию, которая характеризуется частотой следования и числом импульсов. Такой ЭМТП относится к разряду следящих и обеспечивает возможности глубокого частотного регулирования скорости. Он позволяет осуществить числовое задание пути и обеспечивает надежную фиксацию конечных координат движения.

Структура ЦСП прямого преобразования с разомкнутым ЭМТП на основе ШЭД приведена на рис. 3.6.

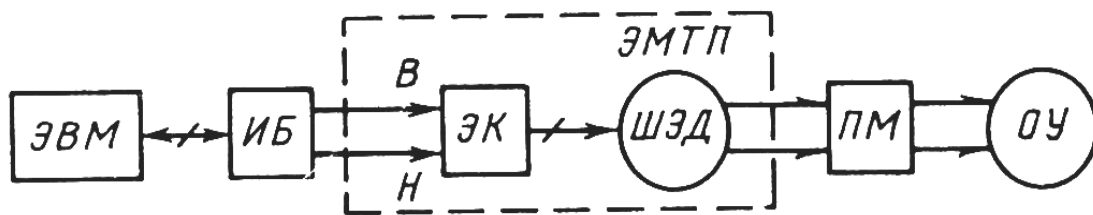


Рис. 3.6.

Электромеханотронный преобразователь содержит ЭК и ШЭД. На входы ЭК поступают импульсы управления. В зависимости от конкретного применения возможны варианты двухканального управления от ЭВМ через интерфейсный блок (ИБ), когда импульсы каждого направления подаются на отдельные входы ЭК вперед *В*, назад *Н* и одноканального управления, когда направление отработки определяется полярностью входных импульсов. В ряде случаев используется импульсно-потенциальное управление, когда на один вход ЭК подается импульсная последовательность, определяющая перемещение, а на второй — потенциальный сигнал, определяющий направление. Шаговый электродвигатель через ПМ перемещает ОУ.

Обычно ЭК состоит из распределителя импульсов (РИ) и усилителя мощности (УМ), причем их число соответствует числу коммутируемых обмоток ШЭД. Не исключено применение совмещенных вариантов ЭК, когда функции распределения и усиления требуемой последовательности импульсов совмещены в одном устройстве - коммутаторе с совмещенной логикой. В связи с использованием микропроцессорного управления широкое распространение получили варианты построения, в которых функции РИ выполняются МП.

Сопоставительная оценка ЦСП с непрерывными и шаговыми электродвигателями позволяет выделить следующие преимущества последних:

- 1) структурная простота в связи с отсутствием ПОС;
- 2) большая глубина регулирования скорости;
- 3) возможность изменения показателей за счет ЭК;
- 4) малая статическая погрешность, не превышающая шаговое перемещение;
- 5) простота настройки и высокая надежность.

Перечисленные преимущества позволяют ускорить разработку ЦСП, упростить их анализ и повысить эксплуатационные показатели по сравнению с ЭМТП непрерывного типа.

Структурная схема ЦСП компенсационного типа с разомкнутым ЭМТП представлена на рис. 3.7.

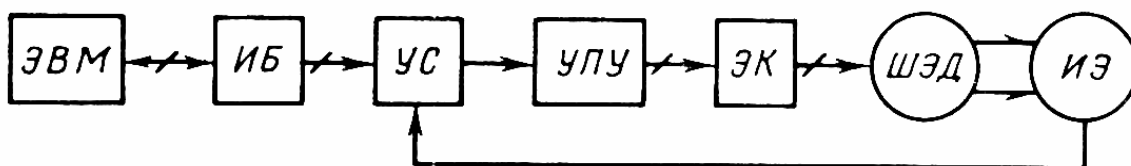


Рис. 3.7

На вход от ЭВМ поступает непосредственно или через ЦАП информация, подлежащая преобразованию в перемещение. В УС она сравнивается с текущим значением перемещения, поступающим по цепи главной обратной связи от измерительного элемента (ИЭ). Полученное на выходе УС рассогласование поступает на УПУ, где усиливается и преобразуется в форму, необходимую для управления разомкнутым ЭМТП, состоящим из ЭК и ШЭД.

Структурная схема ЦСП прямого преобразования с разомкнутым ЭМТП предназначена для непосредственного преобразования цифровой информации от ЭВМ и в отличие от ЦСП компенсационного типа не включает в себя контур обратной связи, содержащий УС и ИЭ.

Независимо от структурных особенностей, ЦСП с разомкнутым ЭМТП могут реализовать релейный и пропорциональный режимы управления. В том случае, когда управляющее воздействие на входе ЭМТП представлено в виде кода, пропорциональное управление осуществляется за счет преобразования «код—частота импульсов». Если сигнал рассогласования на входе ЭМТП представлен в виде аналоговой величины, например постоянного напряжения, то пропорциональное управление обеспечивается ПНЧ.

Такое построение позволяет реализовать повышение быстродействия ЦСП за счет использования режимов программированного разгона и торможения разомкнутого ЭМТП путем изменения скорости отработки ШЭД. В этих режимах ШЭД работает с частотой входных сигналов, меньшей частоты приемистости, а в режиме программного разгона — с частотой, превышающей частоту приемистости. По мере уменьшения рассогласования ШЭД переходит в режим программируемого торможения до частоты, обеспечивающей надежное торможение и фиксацию в момент завершения процесса преобразования.

Применение разомкнутого ЭМТП с ШЭД характеризуется простотой реализации структуры ЦСП. Недостатком такого построения системы является ограниченное быстродействие, определяемое на практике частотой реверса ШЭД в установившемся или переходном режиме. Программируемый разгон компенсирует это ограничение при обработке больших рассогласований.

Другим путем, позволяющим повысить добротность разомкнутого ЭМТП с ШЭД, является изменение цены шага в процессе обработки, т.е. его дробление. Уменьшение дискретности при искусственном дроблении шага позволяет добиться увеличения скорости обработки системы при использовании ШЭД большей мощности с теми же скоростными характеристиками, что позволяет уменьшить механическую редукцию ПМ между ОУ и ШЭД, а в ряде случаев выполнить систему безредукторной. Помимо снижения трудоемкости изготовления ИСМ, это приводит к резкому повышению надежности ЦСП.

### 3.2.2 Разомкнутые преобразователи

Возможны разные варианты преобразования входной информации для управления разомкнутым ЭМТП в составе ЦСП с прямым преобразованием кодов ЭВМ. Но наиболее распространены ЭМТП с управлением унитарным кодом.

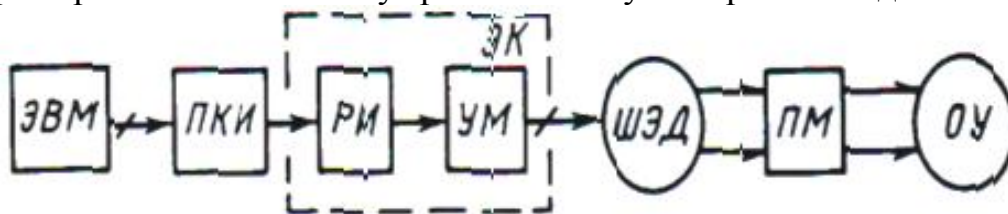


Рис. 3.8

Для сопряжения с ЭВМ, оперирующей в двоичных кодах, в состав структурной схемы ЦСП (рис. 3.8) вводится преобразователь кода в число импульсов (ПКИ), с выхода которого импульсы поступают на РИ. Он обеспечивает на своих выходах многоканальную последовательность импульсов, которая через УМ подается на обмотки управления ШЭД; РИ и УМ образуют ЭК.

Схема ПКИ вырабатывает импульсы постоянной частоты, серию импульсов с плавным нарастанием частоты в начале и плавным снижением ее в конце перемещения, а также серии импульсов с постоянной частотой в каждой из них. К ЦАП и ПНЧ

в этой схеме не предъявляется высоких требований по линейности и разрешающей способности. Определяющим является требование, исключающее появление частоты, при которой невозможна работа ШЭД.

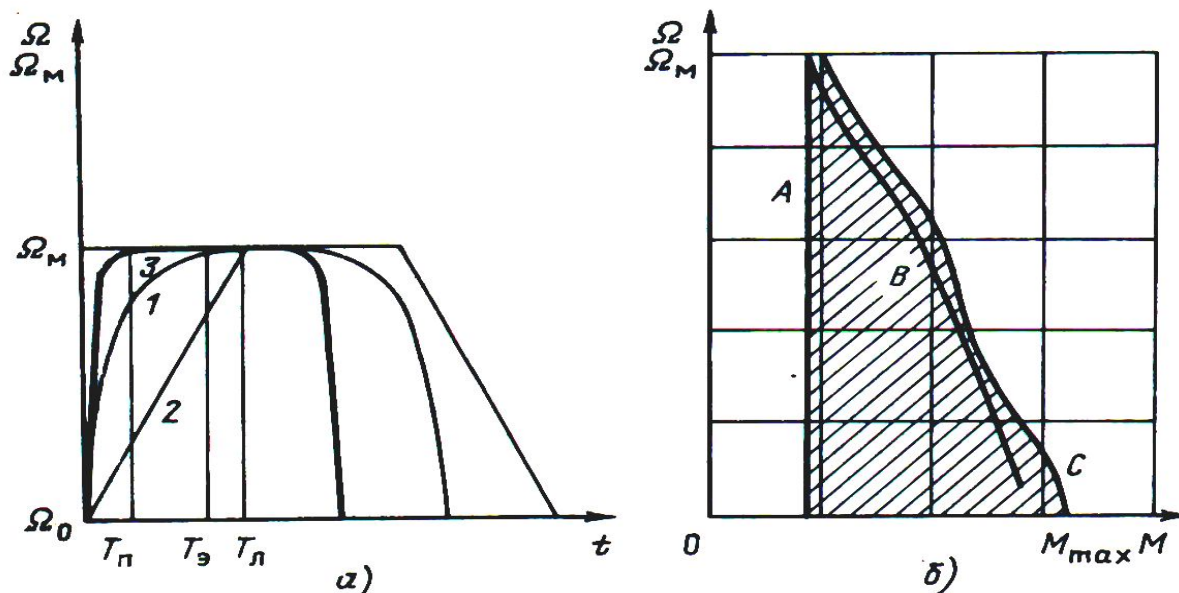


Рис. 3.9

Некоторое снижение быстродействия по сравнению с быстродействием ЭМТП на непрерывных двигателях компенсируется упрощением ЦАП и исключением сложных корректирующих цепей. Путем введения программируемого разгона и торможения удастся повысить быстродействие ЦСП с ШЭД при обработке больших рассогласований.

Эффективность использования программируемых разгона и торможения определяется предельной частотой управления и временем ее достижения. Отсчет ведется от уровня частоты, соответствующего старт-стопному управлению, обеспечивающему оптимальное управление ШЭД в пределах шага.

При программируемом разгоне ШЭД наибольшее распространение получили линейный и экспоненциальный законы изменения частоты управляющих импульсов в функции времени. Использование линейного закона изменения частоты вращения не позволяет полностью использовать динамические возможности ШЭД в части минимизации времени разгона. Более эффективным, с этой точки зрения, является использование при разгоне прямого, а при торможении—обратного

экспоненциального закона изменения частоты управления ШЭД. Это позволяет получить более высокое ускорение или замедление в области низких скоростей движения по сравнению с ускорением или замедлением, получаемым в области высоких скоростей движения. Траектории движения при экспоненциальном *1* и линейном *2* законах программируемого разгона и торможения представлены на рис. 3.9, а, где  $T_n$ ,  $T_r$ ,  $T_l$  соответственно постоянные времени при параболическом, экспоненциальном и линейном законах изменения частоты разгона.

Существенное уменьшение времени  $T$ , необходимого для изменения скорости движения от ее начального уровня  $\Omega_0$  до маршевой скорости  $\Omega_m$  достигается при использовании параболического закона изменения частоты управляющих импульсов ШЭД (траектория *3* на рис. 3.9, а). При этом момент времени  $t_n$  подачи очередного импульса связан с ускорением  $\varepsilon_{n-1}$  и моментом времени  $t_{n-1}$  подачи предыдущего импульса следующим уравнением

$$[\varepsilon_{n-1} + 2(\Omega_0 - \Omega_m)t_{n-1} / T^2]t_n^2 + t_n/t_{n-1} = 0.$$

Аппаратная реализация этой зависимости сложна. Благодаря использованию программных методов удается достаточно просто синтезировать в МПС закон изменения частоты следования управляющих импульсов. Сопряжение МПС с ЭМТП производится через стандартные интерфейсы *RS-232C* или параллельный периферийный.

Использование параболического закона изменения частоты управляющих импульсов при разгоне и торможении позволяет более эффективно использовать момент, развиваемый ШЭД. Это наглядно иллюстрируется на рис. 3.9, б, где заштрихованная область слева от кривой *C*, характеризующей развиваемый ШЭД момент, определяет степень его использования при параболическом (кривая *B*) и линейном (прямая *A*) законах изменения частоты управления.

Следует отметить, что возможности разомкнутого ЭМТП принципиально ограничены, поскольку ШЭД синхронизируется только в пределах одного полюсного деления, т.е. в пределах одной полуволны кривой синхронизирующего момента. Этим определяется допустимое рассогласование в системе при пуске, торможении, реверсе и других переходных режимах, связанных с изменением частоты команд, напряжения источника питания или

нагрузки. Все это накладывает жесткие ограничения на частоту входных команд и приведенный момент инерции нагрузки.

Разомкнутым ЦСП с ШЭД в различной мере присущ один недостаток — возможность невозможной потери информации. Поэтому в наиболее ответственных комплексах управления разомкнутые ЭМТП с ШЭД уступали замкнутым ЭМТП с непрерывными двигателями. Эта тенденция проявилась в робототехнике, где ШЭД стали вытесняться двигателями постоянного тока.

Для устранения возможности потери информации в ЦСП с ШЭД вводится контур ПОС сопряжения с валом ШЭД аналогового или цифрового преобразователя угла.

### **3.2.3 Преобразователи компенсационного типа**

Рассматриваемые в этом разделе ЦСП являются замкнутыми по положению и предусматривают предварительное преобразование выходной информации ЭВМ в аналоговый сигнал, который на входе ЭМТП сравнивается с сигналом аналогового датчика обратной связи по положению. В качестве датчика обратной связи используются потенциометры, сельсины и СКВТ. В ряде случаев, в частности в ЦСП, применение системы с ШЭД оказывается более предпочтительным, чем ЭМТП непрерывного типа.

Так, например, использование ШЭД в робототехнике позволяет упростить программирование методом обучения. Фактором, способствующим применению ШЭД в ПР, является возможность построения ЦСП, обеспечивающей защитный отказ путем фиксации положения вала ИСМ при выходе из строя элементов ЭК, что весьма сложно обеспечить в ЭМТП с непрерывными двигателями.

Следует учитывать, что импульсная передача сигналов в тракте ЦСП упрощает построение УПУ, позволяет широко использовать типовые устройства цифровой схемотехники. Последнее наряду с повышением надежности открывает благоприятные возможности для миниатюризации аппаратуры, что особенно существенно, если учесть тенденцию к уменьшению размеров ПМ. Широкому применению ШЭД в ЦСП способствуют успехи в микроминиатюризации ЭК, которые по эксплуатационным показателям превосходят непрерывные УПУ.

Для получения высокой точности преобразования в качестве элемента обратной связи в ЦСП используются первичные



преобразователи с электрической редукцией, сравнивающие устройства амплитудного или фазового типа.

Структурная схема ЦСП с ШЭД и непрерывным сравнивающим устройством представлена на рис. 3.10.

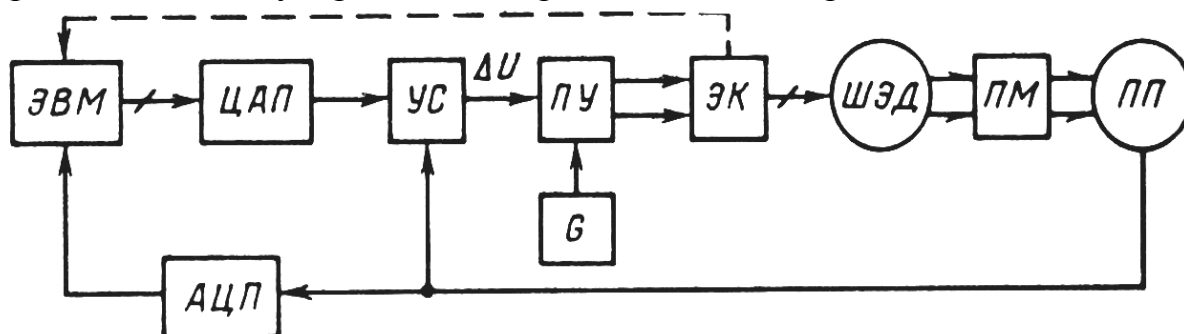


Рис. 3.10

Преобразуемый код с выхода ЭВМ поступает на ЦАП, выход которого соединен с первым входом УС; а на его второй вход поступает сигнал от преобразователя перемещений ПП. Сигнал рассогласования  $\Delta U$  поступает на пороговое устройство (ПУ), которое подключает выход генератора импульсов  $G$  к одному из входов ЭК ШЭД, компенсирующего рассогласование, поворачивая через ПМ подвижную часть ПП.

В отличие от ЦСП с непрерывным двигателем, в системе с ШЭД за счет квантования сигнала по уровню возникает методическая погрешность дискретности, которая зависит от шага квантования  $q$ . Зона нечувствительности, предотвращающая автоколебания, обеспечивается выбором статического коэффициента передачи системы  $K = \theta_{вых} / \theta_{вх}$ . Приемлемые значения  $K$  находятся в диапазоне от 1 до 2. При  $K < 1$  теряет смысл квантование с шагом  $q$ , так как статическая характеристика имеет гистерезис, равный двум шаговым перемещениям нагрузки, что приводит к неоднозначности отсчета; при  $K > 2$  в системе возникают неустраняемые автоколебания. Статическая характеристика системы при  $K=2$  однозначная и аналогична характеристике идеального квантования.

Предварительный выбор ШЭД и системы его коммутации для заданных параметров нагрузки объекта управления можно вести на основе универсальных динамических характеристик. Для уменьшения погрешности дискретности желательно применение двигателей с малым шагом. Для конкретного ШЭД с  $\alpha = const$  допустимая погрешность дискретности может быть обеспечена за счет редукции ПМ. Степень этого снижения определяется

соотношением инструментальной составляющей погрешности и погрешности дискретности.

Рассматриваемая ЦСП (рис. 3.10) является электромеханической следящей системой с отрицательной обратной связью. Поэтому она обладает всеми преимуществами систем этого класса и ее инструментальная погрешность определяется в основном стабильностью и линейностью характеристик ПП в цепи обратной связи. Изменения параметров ПУ, нестабильность частоты генератора импульсов  $G$  оказывают существенно меньшее влияние на работу ЦСП. Не следует забывать о том, что непосредственное влияние на точность преобразования оказывают погрешности ЦАП, который находится в прямой цепи системы. Поэтому в ряде случаев, когда к ЦСП предъявляются высокие требования по точности и загрузка ЭВМ позволяет производить периодический контроль преобразования, целесообразным становится введение контура коррекции (показан на рис. 3.10 штриховыми линиями), который формируется из последовательности управляющих импульсов на выходе ЭК ШЭД.

В зависимости от требований к ЦСП возможны различные варианты реализации АЦП. В том случае, когда количество электрических связей ИСМ ограничено, целесообразно использование аналогового ПП и электронного АЦП. Этот вариант предпочтителен и в том случае, когда в составе устройства ввода-вывода (УВВ) имеется встроенный АЦП, а код второго контура служит для формирования младшего по весу разряда (МВР) цифрового эквивалента угла поворота.

Второй вариант предусматривает коррекцию с помощью кодового датчика КД, вал которого связан механически с ротором ШЭД и находится в составе ИСМ. В этом случае возможен иной вариант построения и контура ПОС, при котором ее формирование производится от КД и ЭК ШЭД. При использовании четырехфазного ШЭД и выборе соответствующего передаточного отношения ПМ обеспечивается получение двух дополнительных двоичных разрядов кода при четырехтактной коммутации обмоток ШЭД и трех двоичных разрядов при восьмитактной коммутации. Общее число отсчетов на входе ЭВМ

$P = M \cdot n$ , где  $M$  — число отсчетов КД, а  $n$  — число тактов коммутации ШЭД.

Информационная емкость преобразования перемещения в ЦСП с ШЭД в значительной мере возрастает при искусственном

дроблении шага, которое служит действенным средством уменьшения погрешности дискретности. Если степень дробления шага  $\nu \rightarrow \infty$ , то погрешность дискретности стремится к нулю, т.е. исчезает дискретный характер системы и она становится непрерывной. Использование дробления шага представляет один из путей реализации безредукторных ЦСП, обладающих высокой надежностью.

Вместе с тем погрешность дискретности ЦСП обратно пропорциональна времени преобразования, что является специфической особенностью ЭМТП с ШЭД. Поэтому с целью повышения статической точности ЦСП при заданном быстродействии следует применять ШЭД с высокой частотой отработки.

Применение ШЭД в робототехнике привело к резкому повышению требований к быстродействию и точности ЭМТП на их основе. Эти показатели в ЭМТП связаны и определяют его конкурентоспособность в сравнении с другими типами. Разомкнутые ЭМТП на основе ШЭД без принятия специальных мер не способны соперничать с ЦСП на непрерывных двигателях.

Повышение требований к точности ПМ, приводящее в большинстве случаев к их упрощению или исключению, требует создания ШЭД с малым шагом. В этих условиях достижение высоких скоростей перемещения требует повышения частот отработки. Усилия, направленные на решение этой задачи в рамках классической структуры разомкнутого типа, наталкиваются на принципиальные ограничения, связанные с применением высокочастотных индукторных ШЭД с малым шагом, имеющих низкие энергетические показатели и большие постоянные времени.

Рост частоты коммутации приводит к росту потерь в стали, дополнительному нагреву и снижению момента.

Повышение эффективности разомкнутого ЭМТП путем использования дробления и программируемого разгона связано с его усложнением и не в состоянии обеспечить максимальное использование возможностей ШЭД. Последнее обстоятельство связано с тем, что в разомкнутой системе низок уровень информационного обеспечения и отклонения параметров системы могут вызвать нарушение процесса регулирования. В большинстве случаев усложнение разомкнутого ЭМТП для его оптимизации не позволяет получить значительного эффекта по указанной выше причине.

Выходом из создавшегося положения является повышение уровня информационного обеспечения ЭМТП за счет введения местной обратной связи (МОС) по углу и скоростной обратной связи (СОС). Наибольший эффект, несомненно, достигается при использовании главной обратной связи по этим координатам ЭМТП. Оптимальным является реализация повышения степени информационного обеспечения на основе единого первичного преобразователя в сочетании с микроэлектронными вторичными преобразователями, формирующими требуемые импульсные и кодовые эквиваленты параметров перемещений.

Важно отметить, что этот путь решения задачи повышения быстродействия ЦСП с ШЭД согласуется с тенденцией снижения инструментальной погрешности за счет применения в качестве первичного преобразователя элементов с электрической редукцией. Эти системы строятся с использованием преобразователей фазового или амплитудного типа.

В ЦСП амплитудного типа (рис. 3.11) выходной сигнал ЭВМ преобразуется тригонометрическим цифроаналоговым преобразователем (ТЦАП) в сигналы формата СКВТ-датчика, которые усиливаются двухканальным усилителем (ДКУ). В качестве приемника используется многополюсный индукционный СКВТ-приемник (СКВТ-П), ротор которого связан с ротором ШЭД. Сигнал рассогласования с выхода СКВТ-П поступает на УПУ, осуществляющее преобразование амплитудно-модулированного сигнала в двухканальную последовательность импульсов, поступающих на вход ЭК.

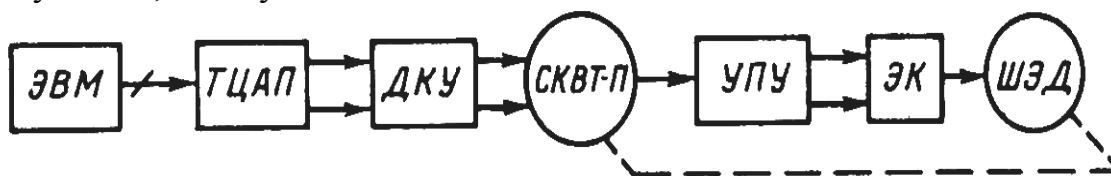


Рис. 3.11

Система работает по принципу релейных следящих систем. Когда сигнал рассогласования на выходе СКВТ-П достигает порога срабатывания УПУ, на одном из его выходов формируются импульсы управления, поступающие на ЭК. Вал ШЭД разворачивает ротор СКВТ-П до тех пор, пока сигнал рассогласования не станет ниже порога срабатывания УПУ. За счет выявления фазы сигнала рассогласования обеспечивается реверсивная работа ШЭД и осуществляется отработка рассогласования по кратчайшему пути в пределах зоны

синхронизации СКВТ-П. При использовании в двухканальной системе с механической или электрической редуцией УПУ вводится блок выбора канала (БВК). Работа ЦСП по каналу грубого отсчета производится при больших рассогласованиях.

С целью повышения точности и быстродействия преобразования кодов ЭВМ в перемещения возможно применение двух и более ШЭД, работающих через дифференциальную передачу. Двигатели могут управляться параллельно от одного или нескольких ЭК. Возможен вариант поочередной работы нескольких двигателей от одного ЭК. В этом плане более перспективны ЦСП с ШЭД и переменным углом коммутации. При этом в режиме отработки больших рассогласований ШЭД работает на основном шаге, а при вводе в зону работы преобразователя точного отсчета переходит на управление с дроблением шага. Такой режим работы позволяет повысить добротность ЦСП. Определенное усложнение ЭК оказывается оправданным за счет повышения показателей системы.

Эффективным средством повышения разрешающей способности ЭМТП с ШЭД является переход к квазигармонической коммутации его обмоток.

В том случае, когда к ЦСП не предъявляется высоких требований, возможно применение построений, предусматривающих упрощение ЭК за счет применения нетрадиционного способа управления ШЭД. В качестве УПУ используется фазовый детектор, на сигнальный выход которого поступает сигнал рассогласования с выхода СКВТ-П, а на опорный вход — опорное напряжение, например сетевое. С выхода фазового детектора сигнал поступает на формирователь, вырабатывающий импульсы управления ЭК, который коммутирует расщепленную фазу ШЭД. Вторая фаза ШЭД подключена непосредственно к источнику опорного напряжения.

Ротор ШЭД связан с подвижной частью СКВТ-П и при наличии напряжения рассогласования поворачивается в направлении его ликвидации. Направление вращения ротора ШЭД, обусловленное сдвигом фаз между опорным и вырабатываемым коммутатором напряжениями, зависит от фазы сигнала рассогласования. Сдвиг фаз на  $90^\circ$  между этими напряжениями соответствует одному направлению вращения ротора ШЭД, а на  $270^\circ$  — другому.

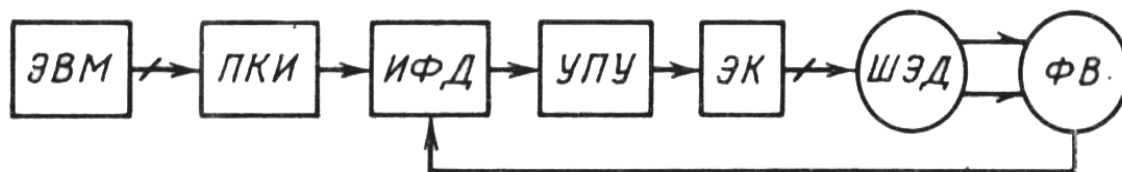


Рис. 3.12

Применение в качестве устройства сравнения импульсного фазового детектора (ИФД) позволяет построить ЦСП, в которой выходной сигнал ЭВМ первоначально преобразуется преобразователем «код—интервал» (ПКИ) (рис. 3.12).

В этом случае в качестве элемента ПОС в ЭМТП используется ПП на основе фазовращателя (ФВ). Выходной сигнал ФВ и ИФД преобразуется в прямоугольные импульсы, поступающие на первый вход RS-триггера, на второй вход которого поступают импульсы с выхода ПКИ. При наличии фазового сдвига между сигналами ФВ и ПКИ на выходе ИФД формируются импульсы, длительность которых пропорциональна рассогласованию. Частота импульсов равна частоте опорного сигнала ФВ, а полярность меняется при изменении разности фаз на  $180^\circ$ . Это свойство используется для реверса ШЭД, что обеспечивает отработку возникшего рассогласования по кратчайшему пути.

Для диапазона опорной частоты ФВ от 500 до 4000 Гц в качестве сигналов управления ЭК можно использовать выходные сигналы ИФД. Шаговый электродвигатель начинает отработку при появлении рассогласования, превышающего зону нечувствительности ИФД, и обрабатывает его с постоянной скоростью, не зависящей от значения рассогласования. Время отработки  $t$  рассогласования определяется приведенным к валу ФВ шагом  $\alpha_{np}$  и частотой  $f_y$  следования управляющих импульсов:

$$t = \Delta\varphi / \alpha_{np} f_y.$$

При применении многоотсчетных первичных преобразователей могут быть использованы рассмотренные выше меры по увеличению добротности ЭМТП за счет дробления шага.

Наиболее полно преимущества ШЭД по сравнению с непрерывными двигателями проявляются в цифровой следящей системе (ЦСС), обеспечивающей прямое преобразование выходных кодов ЭВМ в перемещения с применением ПОС.

Разнообразие методов кодирования может привести к созданию многочисленных вариантов построения ЦСП с ШЭД. Однако эти ЦСС существенно не отличаются друг от друга и имеют общую структуру построения.

Достоинством такого построения является простота реализации контура обратной связи. Однако эта простота достигается за счет потери структурной помехоустойчивости, характерной для преобразователей абсолютного типа. В системах с ШЭД вызывают затруднения преимущества импульсного преобразователя, заключающиеся в возможности повышения его разрешающей способности за счет сопряжения с валом двигателя через ускоряющий ПМ. Поэтому использование импульсного преобразователя в контуре ПОС в большинстве ЦСП не является оправданным с учетом того, что степень помехозащищенности канала обратной связи оказывается на одном уровне с прямым каналом, а введение дополнительного импульсного преобразователя усложняет ИСМ и отрицательно влияет на динамические показатели ШЭД за счет внесения дополнительного момента инерции.

### **3.2.4 Микропрограммное управление ШЭД**

В настоящее время находят применение три способа управления ШЭД: пошаговый, самокоммутации и минишаговый. Каждый из этих способов имеет достоинства и недостатки, соотношение между которыми может меняться путем использования различных алгоритмов коммутации ШЭД. Это позволяет оперативно изменять статические, динамические и энергетические показатели одного и того же двигателя, задавая определенные сочетания способов и алгоритмов управления ЭМТП в статике и динамике. Некоторые особенности этого подхода к построению ЭМТП рассмотрим на примере четырехобмоточных магнитоэлектрических и индукторных ШЭД, нашедших широкое применение в ЦСП благодаря ряду эксплуатационных показателей.

Множество алгоритмов коммутации таких ШЭД (схема подключения показана на рис. 3.13, а) содержит подмножества 4-, 8- и 2-тактных алгоритмов коммутации, области применения и широта использования которых разнообразны.

Наибольшее распространение получило подмножество 4-тактных алгоритмов. Оно содержит алгоритм парного (рис. 3.13,б), поочередного (рис. 3.13, в) и одновременного включения трех обмоток (рис. 3.13,г).

Поочередное включение обмоток используется там, где определяющим является требование минимальной потребляемой мощности, поскольку потребляемая мощность снижается вдвое

по сравнению с парным включением обмоток. Следует отметить, что КПД ШЭД при такой системе коммутации уменьшается, поскольку синхронизирующий момент ненасыщенного ШЭД снижается в  $2\sqrt{2}$ -раз по сравнению с синхронизирующим моментом ШЭД с парной коммутацией. Положительной характеристикой этого типа коммутации является повышение быстродействия системы автоматического управления (САУ) за счет уменьшения собственного демпфирования ШЭД.

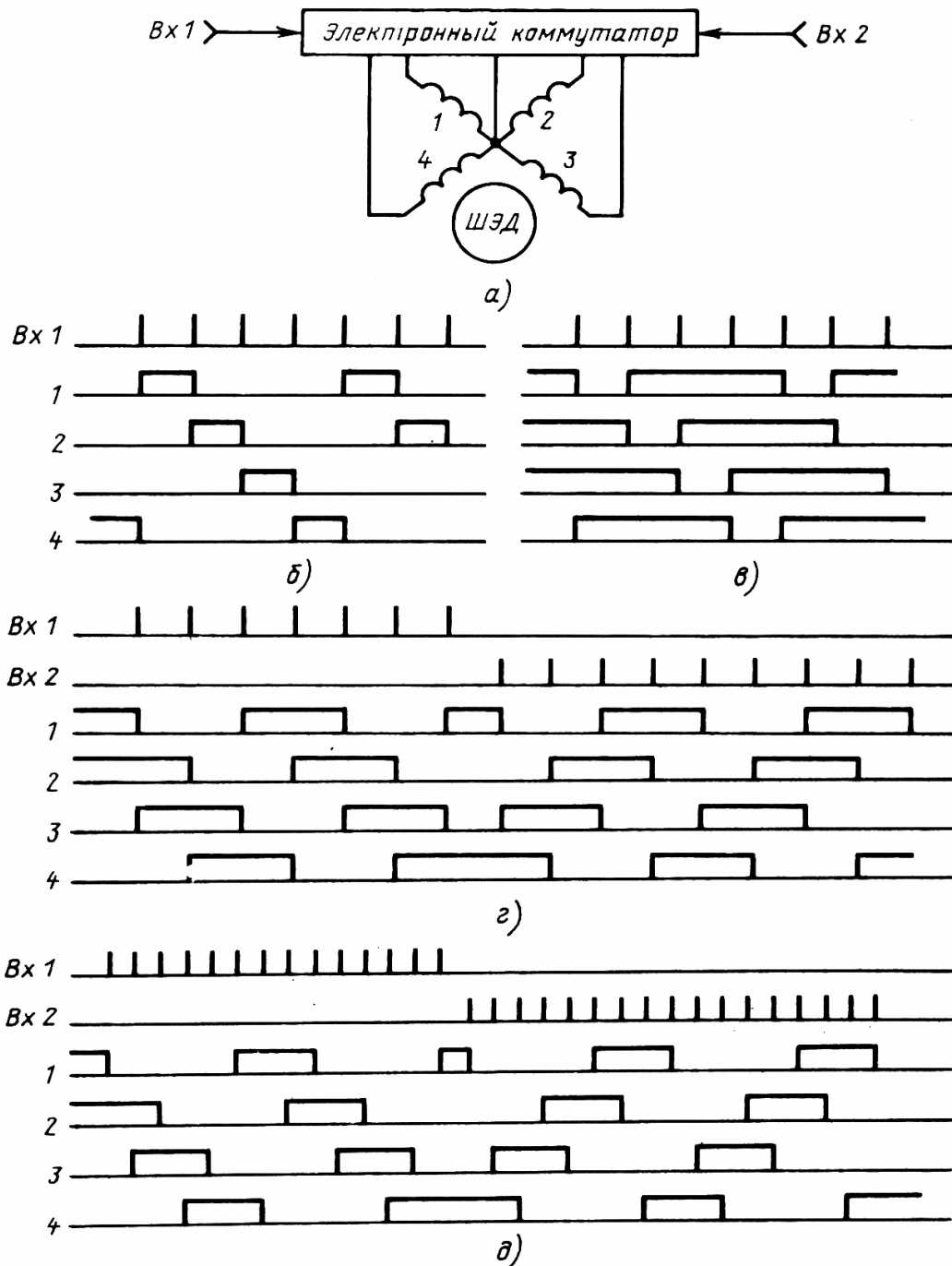


Рис. 3.13



Это свойство используется при комбинированном управлении в режиме самокоммутации. Положения устойчивого равновесия ротора при этом способе управления сдвинуты относительно статических положений при парной коммутации на половину шага.

Алгоритм управления четырехобмоточных ШЭД с поочередным включением обмоток является элементарным алгоритмом. Это один из членов обладающего свойством полноты подмножества 4-тактных алгоритмов управления, выделенного из множества возможных алгоритмов, обладающих свойством неразложимости. Свойство неразложимости состоит в том, что этот алгоритм управления не может быть заменен комбинацией других алгоритмов. Свойство полноты состоит в том, что любой неэлементарный алгоритм управления, принадлежащий множеству алгоритмов управления ШЭД, может быть выполнен с помощью совокупности элементарных алгоритмов поочередной коммутации.

Алгоритм коммутации с одновременным включением трех смежных обмоток применяется при работе ШЭД на инерционную нагрузку с малым трением для улучшения устойчивости в области резонансных частот. Энергетические показатели ШЭД ухудшаются по сравнению с энергетическими показателями ШЭД с парной коммутацией, поскольку потребляемая мощность увеличивается на 50%, а синхронизирующий момент ненасыщенного ШЭД только на 6%. Быстродействие системы падает за счет увеличения собственного демпфирования двигателя. Алгоритм управления, реализуемый при такой коммутации, относится к подмножеству 4-тактных алгоритмов и является неэлементарным, поскольку может быть заменен комбинацией из трех элементарных алгоритмов.

Четырехтактный алгоритм коммутации с парным включением обмоток получил наибольшее распространение благодаря достаточно высоким энергетическим показателям и простоте построения управляющего устройства. С поступлением импульса управления одна из обмоток обесточивается при одновременном подключении третьей обмотки, смежной с оставшейся включенной. Эта система коммутации принята в настоящее время в качестве стандартной, и изготовители ШЭД приводят все паспортные данные на двигатели для этого алгоритма, который является комбинацией двух элементарных алгоритмов.

В системах повышенного быстродействия находят применение 8-тактные алгоритмы коммутации, которые при некотором усложнении логической части ЭК позволяют получить увеличение частоты отработки ШЭД. При этом единичные перемещения уменьшаются в 2 раза по сравнению с перемещением при 4-тактной системе коммутации. Переход от четырехтактной к 8-тактной коммутации соответствует естественному дроблению шага.

Подмножество 8-тактных алгоритмов управления содержит два неэлементарных алгоритма управления:

а) одновременно возбуждены одна или две обмотки управления (рис. 3.13, д)  $1-12-2-23-3-34-4-41-1-\dots$ , т.е. в течение периода коммутации напряжение приложено к каждой обмотке в течение трех тактов, а остальные пять тактов она обесточена. Очевидно, что такой алгоритм управления является совокупностью периодического чередования двух 4-тактных алгоритмов управления: поочередной и парной коммутации;

б) одновременно возбуждены две или три обмотки  $123-23-234-34-412-12-123-\dots$ , т.е. пять тактов периода каждая обмотка находится под током, а три — обесточена. Этот алгоритм управления является совокупностью чередования двух 4-тактных алгоритмов управления: с одновременным возбуждением трех обмоток и парной коммутации.

С точки зрения оптимизации энергетических и динамических показателей при пошаговом управлении питание обмоток магнитоэлектрических ШЭД целесообразно осуществить по системе: три такта — импульс, пять тактов — пауза, а индукторных — наоборот.

Очень редко при пошаговом управлении используется двухтактная система коммутации. Она требует для работы введения в состав ЭК схемы, задающей направление движения. Без такой схемы ротор может попасть в состояние неустойчивого равновесия. Этот тип коммутации широко применяется при работе ШЭД в режиме самокоммутации. Переход от 2-тактной к 8-тактной коммутации приводит к изменению единичного шагового перемещения в 8 раз.

Анализ возможностей 4-обмоточного ШЭД показывает, что такой двигатель позволяет производить ступенчатое изменение его алгоритмов коммутации и в достаточно широких пределах варьировать шаг и развиваемый момент. Учитывая это, имеет

смысл далее рассмотреть особенности построения ЭМТП, использующих эти возможности.

### 3.2.5 ЭМТП с переменными алгоритмами коммутации

Одним из наиболее ценных свойств ЭМТП с ШЭД является возможность оперативного изменения алгоритмов управления двигателем в процессе работы. Для этих целей используется микропрограммное управление ШЭД, позволяющее автоматически менять алгоритм коммутации в зависимости от режима функционирования системы. В этом случае ЭМТП с ШЭД имеет переменную структуру, а ЦСП, в которой оно применяется, приобретает дополнительные преимущества.

Структурная схема ЭМТП с переменным алгоритмом коммутации ШЭД представлена на рис. 3.14.

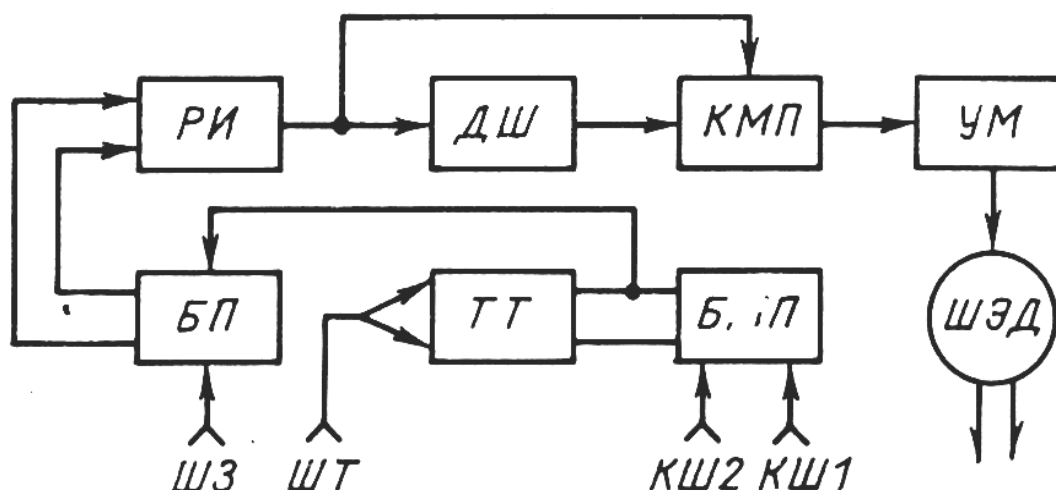


Рис. 3.14

При поступлении импульсов управления по шине тактов (ШТ) срабатывает триггер тактов (ТТ), на первом выходе которого формируется одноканальная последовательность импульсов управления типа «меандр», частота следования которых  $f_1 = f_0 / 2$ , где  $f_0$  — частота импульсов по шине тактов ШТ. Эта последовательность импульсов поступает на тактовый вход блока переключения (БП) и приходит на один из его выходов в зависимости от сигнала знака, поступающего по шине знака (ШЗ).

Выходные импульсы БП поступают на соответствующие входы РИ, вызывая его работу в прямом или обратном направлении. При этом на его выходах формируется последовательность импульсов, расстановка которых соответствует 4-тактному алгоритму парной коммутации ШЭД (см. рис. 3.13,б).

При использовании трехобмоточного ШЭД на выходе РИ формируется последовательность импульсов, соответствующая коммутации с одновременным включением двух соседних обмоток такого ШЭД. Аналогичным образом может быть реализовано микропрограммное управление ШЭД с другим числом обмоток. Непременным условием рассматриваемого построения устройства микропрограммного управления ШЭД является реализация на выходе РИ алгоритма парной коммутации обмоток управления.

Полученная на выходе РИ последовательность импульсов поступает на один из сигнальных входов коммутатора микропрограмм (КМП), на другой вход которого с выхода дешифратора (ДШ) поступает, например, четырехканальная последовательность импульсов, расстановка которых соответствует алгоритму поочередной коммутации ШЭД.

Для микропрограммного управления ШЭД с другим числом обмоток число выходных каналов ДШ должно соответствовать числу обмоток применяемого ШЭД, а расстановка импульсной последовательности в каналах должна соответствовать элементарному алгоритму коммутации применяемого двигателя.

Для получения элементарного алгоритма поочередной коммутации из неэлементарного алгоритма парной коммутации используется свойство разложимости последнего, которое реализуется с помощью ДШ.

При поступлении потенциального сигнала по командной шине КШ1 на вход блока микропрограмм БМП обеспечивает такое переключение КМП, при котором на его выход проходит последовательность импульсов управления, соответствующая парной коммутации обмоток ШЭД. При поступлении потенциального сигнала по командной шине КШ2 происходит включение второго управляющего входа КМП, на выход которого в этом случае проходит последовательность импульсов, соответствующая поочередной коммутации обмоток ШЭД, т.е. элементарному алгоритму коммутации.

Одновременная подача потенциальных сигналов на КШ1 и КШ2 парной и поочередной коммутации позволяет БМП попеременно включать управляющие входы КМП с частотой следования импульсов управления, поступающих с выходов ТТ. При этом на выходе КМП формируется  $n$ -канальная последовательность импульсов, соответствующая  $2n$ -тактному алгоритму коммутации обмоток управления ШЭД.

Устройство микропрограммного управления (рис. 3.14) позволяет реализовать оперативную смену трех алгоритмов управления ШЭД. При отсутствии управляющих сигналов на командных шинах устройство управления через УМ производит отключение ШЭД от источника питания. Реализация подобных функциональных возможностей связана с использованием цифровой интегральной схемотехники.

Наиболее полно функциональные возможности микропрограммного устройства управления ШЭД проявляются в системах, содержащих логические устройства и осуществляющих автоматическое изменение алгоритмов управления двигателем в зависимости от режима работы системы. Наглядным примером этому служит преобразователь, являющийся ЭМТП с непрерывным сравнивающим устройством. Он обеспечивает компенсацию аналогового сигнала при использовании в ЦСП с предварительным преобразованием кода ЭВМ в постоянное или переменное напряжение и позволяет преобразовать в перемещение выходной сигнал СП.

Структурная схема ЭМТП с микропрограммным управлением представлена на рис. 3.15.

Предварительная обработка сигнала рассогласования производится в блоке измерения (БИ), который содержит первичный преобразователь сигнала обратной связи СКВТ или потенциометр. Электромеханотронный преобразователь реализует три алгоритма управления ШЭД.

Если при включении ЭМТП находится в несогласованном состоянии, т.е. на сигнальном выходе С БИ имеется сигнал рассогласования, превышающий порог срабатывания компаратора (КР), то на одном из его выходов в зависимости от знака рассогласования появляется потенциальный сигнал. Он управляет по одному из двух входов БП и дискриминатором алгоритмов (ДА), на одном из выходов которого формируется потенциальный сигнал на включение алгоритма парной коммутации. Этот сигнал по первому входу поступает на селектор алгоритмов (СА), который разрешает прохождение потенциального сигнала с первого выхода на первый вход фиксатора алгоритмов (ФА) в случае отсутствия сигнала аварии на выходе А БИ.

Наличие сигнале на первом входе ФА обеспечивает прохождение импульсов управления от генератора импульсов G на третий вход БП и далее на его выходы в зависимости от

сочетания сигналов на его входах. С выходов БП импульсы поступают на соответствующие входы РИ и одновременно на соответствующий вход коммутатора направления (КН), который определяет текущее направление обработки рассогласования на основе информации, поступающей на входы РИ, и переключает коммутатор однофазной коммутации (КОК) в состояние, которое определяется этой информацией и состоянием РИ.

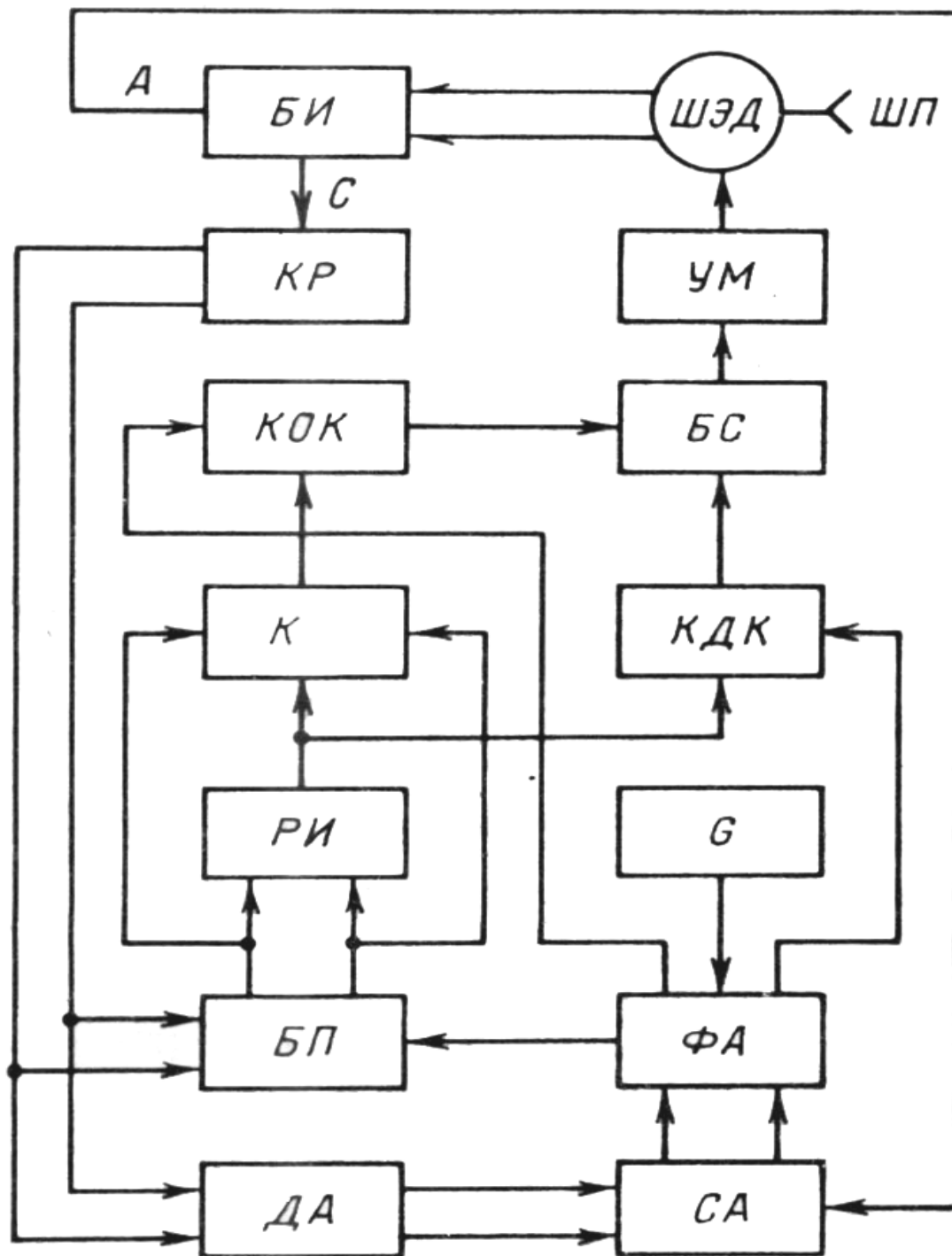


Рис. 3.15

С выходов БП импульсы поступают на соответствующие входы РИ и одновременно на соответствующий вход коммутатора направления (КН), который определяет текущее направление отработки рассогласования на основе информации, поступающей на входы РИ, и переключает коммутатор однофазной коммутации (КОК) в состояние, которое определяется этой информацией и состоянием РИ.

При наличии сигнала на выходах КР на первом выходе ФА сигнал отсутствует и, следовательно, отсутствует сигнал на входе КОК, что приводит к отключению его выхода от первого входа блока согласования (БС). На его второй вход в этом случае поступают управляющие сигналы с выхода коммутатора двухфазной коммутации (КДК), включение которого по первому входу происходит по сигналу со второго выхода ФА. С выхода БС сигналы, соответствующие алгоритму парной коммутации, поступают на входы УМ, которые осуществляют коммутацию обмоток ШЭД в последовательности, обеспечивающей отработку сигнала рассогласования по кратчайшему пути в пределах синхронизации БИ до значения, не превышающего зону чувствительности КР.

В режиме отработки рассогласования потребление ШЭД по шине питания не превышает  $0,6 P_{rmax}$ , что связано с уменьшением потребляемой мощности в динамике. На такую мощность и должен быть рассчитан источник питания электродвигателя ЭМТП.

Вход ЭМТП в зону нечувствительности приводит к исчезновению сигнала на любом из выходов КР, что прекращает прохождение импульсов от генератора G через ФА и БП на входы РИ.

Снятие управляющих сигналов с обоих входов ДА приводит к появлению на его втором выходе сигнала на включение алгоритма поочередной коммутации. Этот сигнал поступает на второй вход СА, который разрешает прохождение сигнала со второго выхода на второй вход ФА в случае отсутствия сигнала аварии на выходе А БИ.

Наличие сигнала на втором входе ФА приводит к появлению управляющего сигнала на его выходе, который соединен с первым входом КОК, выход которого подключается к первому входу ВС и далее ко входу УМ, которые отключают одну из двух включенных на предыдущем шаге обмоток управления ШЭД. В результате этого вал ШЭД поворачивается на половину шагового

интервала в направлении, задаваемом КН. Коммутация обмоток ШЭД прекращается, его вал и подвижная часть БИ фиксируются, ЭМТП устанавливается в состояние устойчивого равновесия, которому соответствует алгоритм поочередной коммутации обмоток управления ШЭД.

В этом состоянии потребление по шине питания составляет  $0,5 P_{rmax}$ . Таким образом, в преобразователе исключается режим фиксированной стоянки электродвигателя под током при алгоритме парной коммутации, когда его потребление по шине питания составляет  $P_{rmax}$  -

Одновременно с этим повышается не менее чем в 2 раза позиционная точность ЭМТП за счет того, что после прохождения валом ШЭД положения, которое соответствует границе зоны нечувствительности КР, вал электродвигателя смещается на полшага внутри зоны нечувствительности, оптимальный размер которой из условия устойчивости выбирается равным  $4/3$  шагового перемещения при парной коммутации обмоток.

Устойчивость релейной системы автоматического управления (каковой является ЭМТП) при таком приеме увеличивается, поскольку переход алгоритма парной коммутации на поочередную при входе в зону нечувствительности эквивалентен уменьшению ее комплексного коэффициента усиления в 2 раза. С точки зрения теории управления реализацию такого алгоритма функционирования ЭМТП при входе в зону нечувствительности КР можно рассматривать как коррекцию нелинейной системы автоматического управления.

Вариант построения преобразователя, показанный на рис. 3.15, обеспечивает коррекцию движения вала ШЭД и при выходе системы из зоны нечувствительности КР. В этом случае при появлении на выходе БИ сигнала рассогласования, превышающего зону нечувствительности КР, производится перевод ШЭД на алгоритм парной коммутации.

В случае, когда направление движения, предшествовавшее входу в зону нечувствительности, сохраняется и при выходе из нее, переход ЭМТП с алгоритма поочередной коммутации на парную вызывает смещение вала ШЭД на полшага в сторону отработки рассогласования. Это обеспечивается за счет того, что появление сигнала на первом или втором входе ДА вызывает появление управляющего сигнала на его первом выходе, который поступает по первому входу на СА, сигнал с первого выхода



которого подготавливает срабатывание ФА при поступлении на его третий вход очередного управляющего импульса с генератора G. При поступлении этого импульса РИ переключается и устанавливает ФА в состояние, при котором на его втором выходе появляется сигнал, разрешающий по первому входу работу КДК. Он через БС и УМ включает еще одну обмотку управления ШЭД. В результате этого его вал смещается на полшага в сторону отработки рассогласования.

Аналогичным образом происходит взаимодействие узлов преобразователя и в том случае, когда направление движения при выходе из зоны нечувствительности противоположно направлению движения при входе в нее, т.е. когда производится преобразование знакопеременного входного сигнала ЭМТП.

Особенностью работы ШЭД в этом случае является то, что его вал при выходе из зоны нечувствительности КР поворачивается при первом пришедшем импульсе с генератора G на полтора шага в направлении отработки рассогласования.

В обоих рассмотренных случаях выхода из зоны первый импульс с генератора G служит для установки ФА в состояние, соответствующее алгоритму парной коммутации. Этот импульс, пройдя на третий вход БП, в зависимости от наличия сигнала на первом или втором его входах, проходит с одного из выходов БП на соответствующий вход РИ, устанавливает его в состояние, соответствующее смещению вала ШЭД на шаг от того положения, которое этот вал занимал бы в состоянии устойчивого равновесия при неизменном алгоритме управления, соответствующем парной коммутации обмоток.

Это дает возможность изменять последнее и первое перемещения вала электродвигателя при входе и выходе из зоны нечувствительности за счет автоматического переключения алгоритмов управления ШЭД. Переключение происходит по сигналам ДА, СА, ФА, КН, КОК и КДК относительно положения, которое обычно определяется только состоянием РИ. Такой характер движения вала способствует увеличению точности и устойчивости ЭМТП при преобразовании знакопеременных периодических сигналов.

При появлении на выходе А БИ сигнала аварии через третий вход производится отключение СА, который через ФА одновременно отключает КОК и КДК, что ведет к отключению БС и УМ. В этом случае электродвигатель автоматически отключается от шины питания (ШП).

Помимо снижения потребляемой мощности от источника питания такое построение преобразователя облегчает миниатюризацию УМ за счет уменьшения тока, протекающего через открытые ключи и режиме фиксированной стоянки ШЭД под током.

### **3.3 ЭМТП НА ОСНОВЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

#### **3.3.1 Особенности применения ВЭД**

Основные ограничения, возникающие при работе разомкнутого ЭМТП с ШЭД, связаны с отсутствием обратной связи между вводимой в него энергией и движением ротора. Эта особенность чаще всего служит причиной колебательного характера отработки управляющих воздействий, вызывает потерю устойчивости в переходных режимах. Устойчивая работа ШЭД при реальных входных воздействиях достигается путем снижения его быстродействия, что устраняет возможность выпадения его из синхронизма в процессе разгона и торможения. Немаловажным фактором, ограничивающим быстродействие ЦСП с ШЭД, является его чувствительность к вариациям момента инерции. Применение программируемых режимов разгона и торможения с целью повышения суммарного быстродействия системы оказывается недостаточно эффективным, поскольку в программе нельзя учесть случайные отклонения параметров.

Стремление к повышению точности ЭМТП с ШЭД привело к разработке минишагового управления, основанного на дроблении шагового перемещения. Электрическое дробление шага позволяет повысить точность позиционирования системы, при этом ее быстродействие меняется незначительно.

Совместное решение задачи повышения быстродействия и точности ЦСП достигается в локально-замкнутом ЭМТП. Количественные изменения показателей ШЭД, охваченного контуром МОС по положению ротора и работающего в режиме самокоммутации, приводят к качественным изменениям электромеханического преобразователя энергии, трансформирующегося в ВЭД с дискретной коммутацией. Непрерывная коммутация ВЭД может рассматриваться как предельный случай дискретной коммутации с бесконечным коэффициентом дробления шага.

В связи с тем, что первоначально задачей, поставленной при создании ВЭД, была замена коллекторного узла двигателей постоянного тока электронным коммутатором ЭК и создание машин с близкими механическими и регулировочными характеристиками, в отличие от прототипа их стали называть бесконтактными двигателями постоянного тока (БДПТ). За рубежом подобные электрические машины именуют бесщеточными двигателями постоянного тока. В пособии используется термин «вентильный электродвигатель» (ВЭД), как наиболее полно отражающий физические процессы в этом электромеханическом преобразователе энергии.

Дискретный ЭМТП с ВЭД работает в режиме самокоммутации обмоток управления. В отличие от пошагового управления, используемого с ШЭД, где режимы разгона и торможения реализуются программным управлением, предусматривающим параметрическое задание изменения скорости движения, самокоммутация базируется на использовании автоматического изменения скорости движения на основе информации о перемещении, поступающей по контуру МОС.

Такой способ управления придает двигателю свойство адаптации к изменению параметров комплекса «ВЭД-нагрузка». Использование принципов адаптивного управления возможно и при пошаговом управлении, когда производится оптимизация момента, развиваемого двигателем, на основе анализа характерных особенностей кривой тока в обмотках ШЭД. Однако при такой оптимизации показателей ЭМТП с ШЭД уступает ЭМТП с адаптивным регулятором ВЭД, охваченного МОС.

В дискретном ЭМТП командный сигнал, осуществляющий очередную коммутацию обмоток ВЭД, формируется в РИ поступающим по каналу МОС импульсом с датчика положения ротора (ДПР). Появление этого импульса свидетельствует о том, что предыдущая команда выполнена и дискретное перемещение ротора произошло.

Основным принципиальным достоинством ВЭД по сравнению с ШЭД является то, что устойчивость и качество движения ЭМТП с ВЭД в основном зависят от его структуры и поэтому поддаются целенаправленному воздействию, в то время как в разомкнутом ЭМТП эти определяющие показатели целиком зависят от параметров ШЭД и объекта управления, которые поддаются изменению лишь в ограниченных пределах.

Благодаря гибкости ВЭД удается либо расширить диапазон рабочих скоростей при позиционировании и слежении с заданной точностью, либо повысить точность позиционирования и слежения при заданных скоростях, либо получить предельные показатели по скорости и точности.

Структурная схема дискретного ЭМТП с ВЭД строится на основе структурной схемы разомкнутого ЭМТП с добавлением ДПР и коммутирующего устройства (КУ), предназначенного для сопряжения ДПР с ЭК (рис. 3.16).

Цифровая информация, подлежащая преобразованию в перемещение, вводится в виде параллельного кода в РС. При наличии в нем информации КУ подключает выход ДПР ко входу ЭК, направление работы которого определяется сигналом *sign* с выхода РС. Вентильный электродвигатель начинает вращаться под *sign* действием импульсов, поступающих с ДПР. Скорость движения зависит от соотношения момента, развиваемого двигателем, и параметров нагрузки, т.е. ПМ и ОУ.

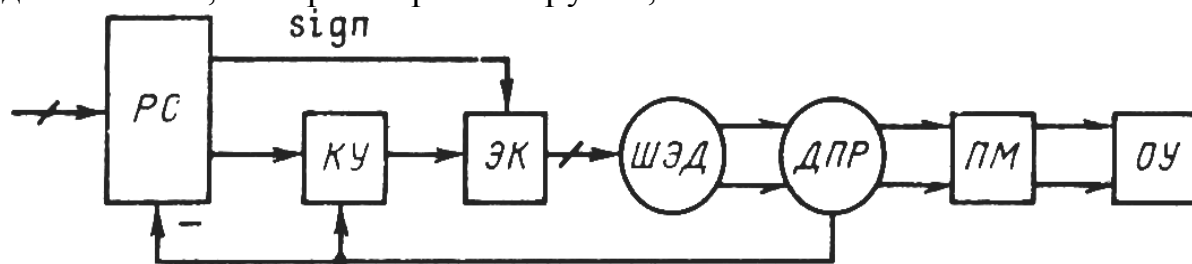


Рис.3.16.

Путем введения опережения или отставания управляющих импульсов, поступающих от ДПР на ЭК, можно изменять угол коммутации, что обеспечивает регулирование частоты вращения в процессе разгона и торможения. Это позволяет повысить показатели ЭМТП по сравнению с показателями ЭМТП с ВЭД, работающими при неизменном угле коммутации.

Введение широтно-импульсной модуляции (ШИМ) фазных напряжений дискретного электродвигателя в функции рассогласования системы позволяет в сочетании с самокоммутацией построить ЭМТП с двойным управлением, обеспечивающим улучшение энергетических показателей ЭМТП.

Электромеханотронные преобразователи, используемые в ЦСП, в зависимости от закона регулирования, можно разделить на пропорциональные, релейные и оптимальные по быстрдействию. Как уже отмечалось, ЦСП с разомкнутым ЭМТП могут быть выполнены релейными и пропорциональными. Достоинством дискретного ЭМТП является то, что, применяя

его, можно реализовать оптимальное управление процессом преобразования цифровой информации в перемещения. Для реализации оптимальной по быстродействию системы требуется более высокий уровень информационного обеспечения по сравнению с уровнем информационного обеспечения пропорциональной или релейной системы. Для формирования оптимального алгоритма управления в ней необходимо иметь информацию не только о положении, но и о скорости движения ротора электродвигателя. Такая информация может быть получена либо от отдельного датчика скорости ротора (ДСР), либо от ДПР в результате дополнительного преобразования его выходных сигналов путем их дифференцирования. В связи с тем что современные ДСР, как правило, выполняются на основе импульсных тахометров, импульсный метод формирования сигнала обратной связи получил наибольшее распространение.

В зависимости от типа применяемого ДПР различают варианты построения ВЭД с импульсным, потенциальным и кодовым формированием сигналов МОС, которым соответствует возрастающий уровень структурной помехоустойчивости.

### **3.3.2 ЭМТП с импульсным ДПР**

Достоинством дискретного ЭМТП с импульсным ДПР является простота реализации режимов вращения и фиксации, т.е. положительных свойств разомкнутого ЭМТП. Немаловажным фактором является и простота реализации ДПР.

Возможности импульсных ДПР в полной мере были использованы ЭМТП для ЦСП с пропорциональным, релейным и квазиоптимальным алгоритмами функционирования. Такие ЭМТП характеризуются следующими особенностями:

- использованием в пропорциональном ЭМТП старт-стопного режима для регулирования скорости перемещения;
- применением в релейном ЭМТП отрицательного гистерезиса;
- учетом функциональной зависимости между временем отработки дискретного перемещения и ошибкой рассогласования в квазиоптимальном по быстродействию ЭМТП с ВЭД;
- многофункциональным использованием информации от импульсного ДПР о значении, направлении и скорости движения;
- использованием ПОС и непрерывного сравнивающего устройства.

Структурная схема ЦСП с ВЭД представлена на рис. 3.17.

Блок формирования алгоритма управления (БФАУ) вырабатывает управляющий сигнал ЭМТП. Характер этого сигнала в общем случае зависит от отклонения регулируемой величины, ее производных и интегралов, а также от иных показателей, определяющих состояние ЦСП и действующих на нее внешних возмущений. В зависимости от совокупности этих факторов вырабатывается тот или иной алгоритм управления ЭМТП: пропорциональный, релейный или квазиоптимальный.

Блок формирования управляющих воздействий (БФУВ) осуществляет преобразование сформированного в БФАУ алгоритма управления в сигналы управления ЭМТП, составной частью которого он является. Управление ВЭД осуществляется через ЭК сигналом, полученным в результате сравнения текущей информации о значении и скорости перемещения ротора ВЭД и информации, поступающей в БФУВ от ДПР по каналу МОС. Блоки формирования алгоритма управления БФАУ и ЭМТП охвачены контуром ПОС, поступающей от ОУ на вход УС.

Число устойчивых положений ротора в пределах одной пространственной волны поля статора определяется принятой системой коммутации обмоток ШЭД. Реализация переменных алгоритмов коммутации разомкнутым ЭМТП с использованием микропрограммного управления позволяет изменять его шаг, энергетические и динамические свойства.

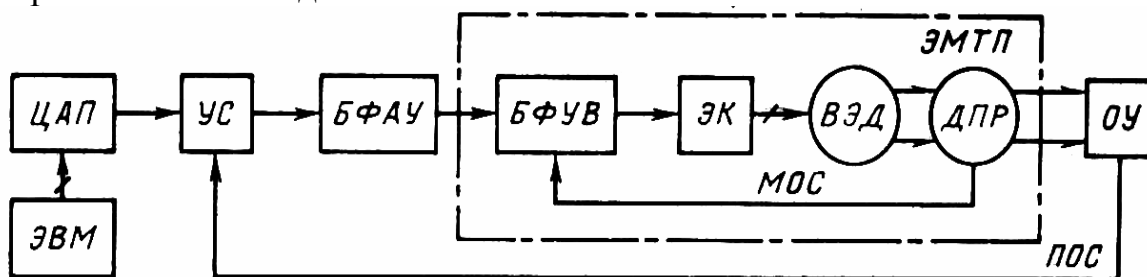


Рис. 3.17.

В дискретном ЭМТП, работающем в режиме самокоммутации, очередным импульсом МОС от ДПР можно установить полирежимный электронный коммутатор (ПЭК) в любое устойчивое состояние, т.е. ступенчато смещать относительно положения ротора участки кривой синхронизирующего момента. Протяженность этих участков ограничена пространственным смещением соседних импульсов МОС. Чем выше разрешающая способность ДПР, тем более плавным будет смещение. Как уже отмечалось, в пределе при использовании непрерывного ДПР,

ЭМТП превращается в непрерывный, обеспечивающий плавное смещение поля и соответствующее ему непрерывное регулирование перемещения ротора ВЭД.

Для повышения быстродействия в переходных режимах ВЭД с большой электромагнитной постоянной времени оказывается целесообразным регулирование угла коммутации в процессе пуска и торможения. С этой целью с помощью ЭК осуществляется введение опережения в управляющий сигнал. При использовании микропрограммного управления опережение может меняться степенями от 0,5 до 3,5 дискретного перемещения.

В том случае, когда требуется более плавное изменение угла коммутации, возможно совместное использование методов самокоммутации и дробления шага. При этом увеличивается скорость отработки перемещения и обеспечивается плавный переход к режиму фиксации без перерегулирования и колебаний.

Один из возможных вариантов функциональной схемы системы с регулируемым углом коммутации представлен на рис. 3.18.

В нем используется ВЭД с числоимпульсным ДПР, обеспечивающим нейтральную коммутацию двигателя.

Управление работой устройства осуществляется от блока режимов (БР), который формирует на соответствующих выходах следующие сигналы: *a* — импульс начала движения; *b* и *c* — взаимоисключающие потенциальные сигналы, определяющие направление вращения—прямое и обратное; *d* и *e*— потенциальные сигналы, определяющие участки разгона и торможения. Работа устройств тактируется выходными импульсами *f* ДПР.

Логическое устройство, состоящее из схем совпадения И1 — И8, схем ИЛИ1 -- ИЛИ4, счетчика дробных шагов (СДШ) с ДШ1 и ДШ2, формирует на выходах *g*, *h* и *l*, *k* две двухканальные последовательности управляющих импульсов. Эти последовательности управляют РИ, построенным на счетчиках младшего (СМР) и старшего (ССР) разрядов, логических схемах ИЛИ5 и ИЛИ6, ДШ3. Многоканальная последовательность импульсов с выхода ДШ3 поступает на УМ, коммутирующий обмотки ВЭД. Распределитель импульсов и УМ образуют ЭК, обеспечивающий переменный угол коммутации ВЭД.

Изменение угла коммутации обеспечивается логическим устройством и ЭК, которые смещают на заданное значение

положение поля статора относительно нейтрали ДПР, т.е. относительно ротора ВЭД. Применяемый в такой системе ЭК специфичен тем, что может изменять цену шага с основного на дробный ( $g$  и  $h$  — входы прямого и обратного вращения для основного шага, а  $k$  и  $l$  — аналогичные входы для дробного шага). Степень дробления шага ВЭД определяется требованиями к точности установки угла коммутации.

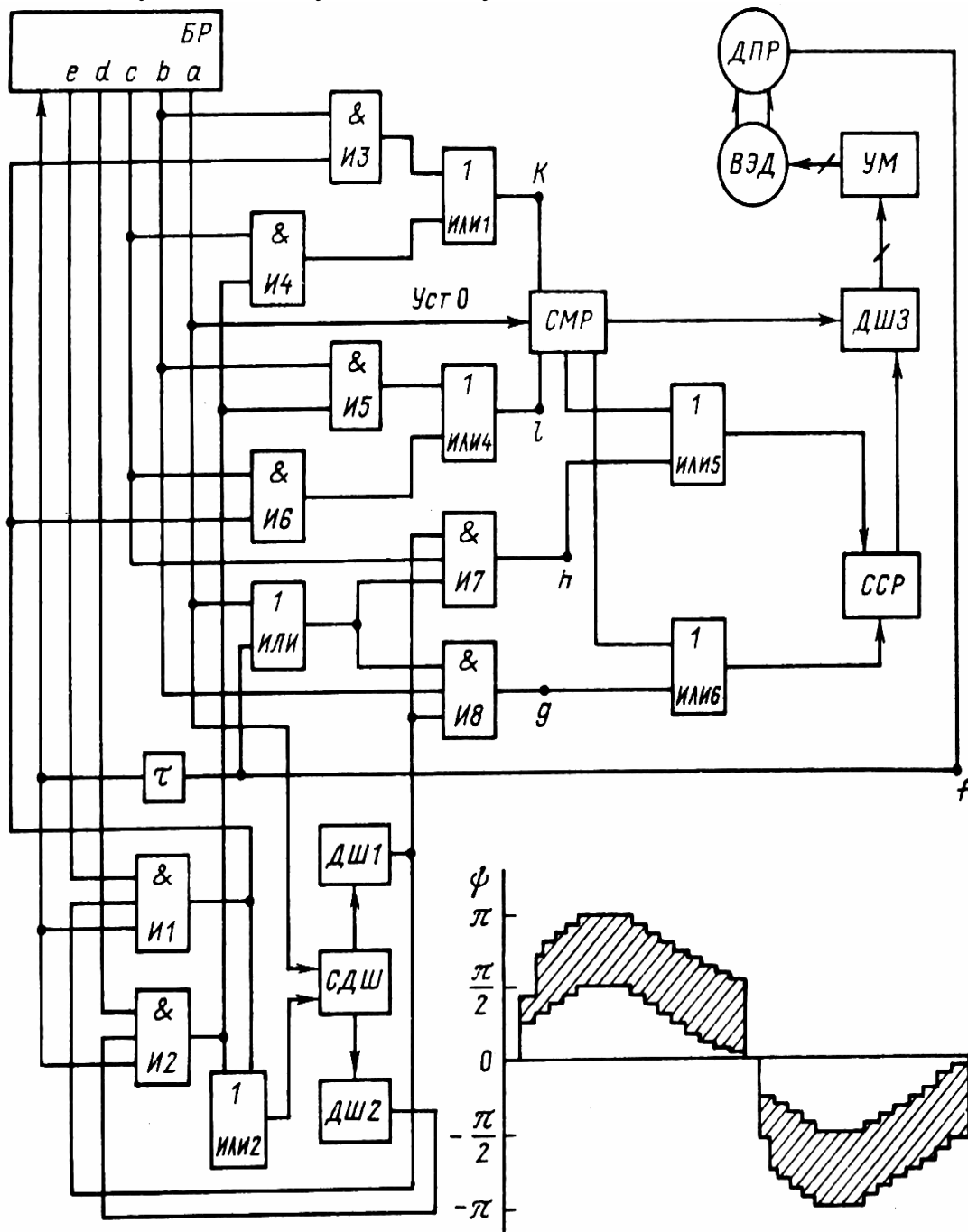


Рис. 3.18

Рис. 3.19

Временные диаграммы, поясняющие работу устройства, приведены на рис. 3.19, где  $\psi$  — угол опережения угла



коммутации обмоток статора относительно положения ротора. На диаграмме  $\psi=f(t)$  заштрихованные участки определяют положение ротора относительно поля статора при работе 4-обмоточного ВЭД. Верхняя граница заштрихованной области соответствует рассогласованию в начале каждого дискретного перемещения, а нижняя — в конце его.

При отработке заданного в БР перемещения возможны четыре режима однонаправленного движения: разгон ВЭД с одновременным изменением угла коммутации от нейтрального до оптимального опережения, работа в установившемся режиме с оптимальным углом, торможение путем устранения опережающей коммутации и фиксации.

К недостаткам варианта построения ЭМТП, представленного на рис. 3.18, следует отнести сложность, низкие помехоустойчивость и быстродействие, которое связано с использованием фиксированного алгоритма коммутации ВЭД в режиме самокоммутации, что ограничивает скорость слежения при отработке больших рассогласований.

Низкая помехоустойчивость обусловлена использованием импульсного ДПР и необходимостью введения в состав ЭК дополнительного элемента памяти, осуществляющего запоминание информации о текущем положении ротора на период прихода очередного импульса МОС.

Увеличение помехоустойчивости и надежности дискретного ВЭП достигается при использовании потенциального ДПР. В ряде случаев это позволяет упростить ЭК за счет исключения РИ. Однако при этом усложняется коммутирующее устройство, которое становится многоканальным, и процесс изменения угла коммутации. В этом случае структура ЭМТП становится полным аналогом известной структуры дискретного ЭМТП с ВЭД со всеми вытекающими отсюда недостатками. Поэтому для большинства применений рекомендуется структура ЭК, обладающего некоторой избыточностью, за счет которой обеспечивается реализация в одном устройстве режима пошагового управления и самокоммутации. В этом случае устройство управления дискретным ЭМТП становится полирежимным в отличие от многорежимных устройств управления, обеспечивающих микропрограммное управление ШЭД путем изменения способа управления.

Анализ недостатков всех вариантов построения ЦСП на основе ВЭД с импульсным ДПР позволяет сделать заключение о

том, что их основными причинами является недостаточная степень информационного и алгоритмического обеспечения процессов управления ВЭД в ЭМТП. Применение первичного преобразователя с более высокой степенью информационного обеспечения и использование более совершенных алгоритмов управления ВЭД позволяют существенным образом повысить помехоустойчивость, точность и быстродействие таких ЦСП.

### 3.3.3 ЭМТП с импульсно-потенциальным ДПР

#### 3.3.3.1 Двухрежимные релейные ЭМТП

Одним из эффективных путей повышения помехоустойчивости и надежности дискретного ЭМТП является использование импульсно-потенциального (многофазного) ДПР.

Примером устройства с двухрежимным ЭМТП является система управления конвейером, который может использоваться совместно с роботами-сборщиками для подачи изделия в рабочую зону манипулятора.

Функциональная схема ЭМТП представлена на рис. 3.20.

Она содержит логическое устройство на основе схем ИЛИ1 - ИЛИ4, двухрежимный электронный коммутатор (ДЭК), ВЭД с потенциальным ДПР и генератор импульсов *G*. Вал ВЭД через ПМ приводит в движение конвейер, на котором находится заготовка (*З*). Прохождение передним краем *З* определенных пространственных положений фиксируется фотоэлементами ФЭ1 и ФЭ2. В более совершенных системах функции фотоэлементов выполняются телевизионной системой технического зрения, которая не только фиксирует прохождение *З* определенного положения, но и выполняет функции распознавания ее конфигурации и контроля.

При подаче сигнала от управляющей ЭВМ на шину запуска *Зап.* через схемы ИЛИ2 и ИЛИ4 на входе *С* ДЭК устанавливается нулевой потенциал, а на входе *П* — единичный. В ДЭК включается режим самокоммутации ВЭД по сигналам потенциального ДПР. Вентильный электродвигатель через ПМ приводит конвейер в движение с максимальной скоростью, которая примерно в 4 раза превышает скорость, соответствующую режиму шагового управления этим двигателем.

В момент достижения передним краем *З* зоны срабатывания ФЭ1 на входы логических схем ИЛИ1 и ИЛИ3 поступает сигнал замедления *Зам*, в результате чего распределение управляющих

потенциалов на выходах логических схем ИЛИ2, ИЛИ3 меняется. На входе *С* коммутатора ДЭК потенциал станет единичным, а на входе *П*—нулевым. В коммутаторе ДЭК этому состоянию входных сигналов соответствует режим пошагового управления электродвигателем по сигналам от генератора импульсов *Г*. Скорость конвейера понижается, а при достижении передним краем заготовки зоны срабатывания ФЭ2 на входы логических элементов ИЛИ1 и ИЛИ4 поступает сигнал **Фикс**, которому соответствует наличие единичных потенциалов на входах *С* и *П* ДЭК. Это сочетание входных сигналов блокирует поступление на ДЭК импульсов как от потенциального ДПР, так и от генератора импульсов *Г*. В коммутаторе запоминается последнее состояние, и двигатель фиксируется в положении, соответствующем этому состоянию.

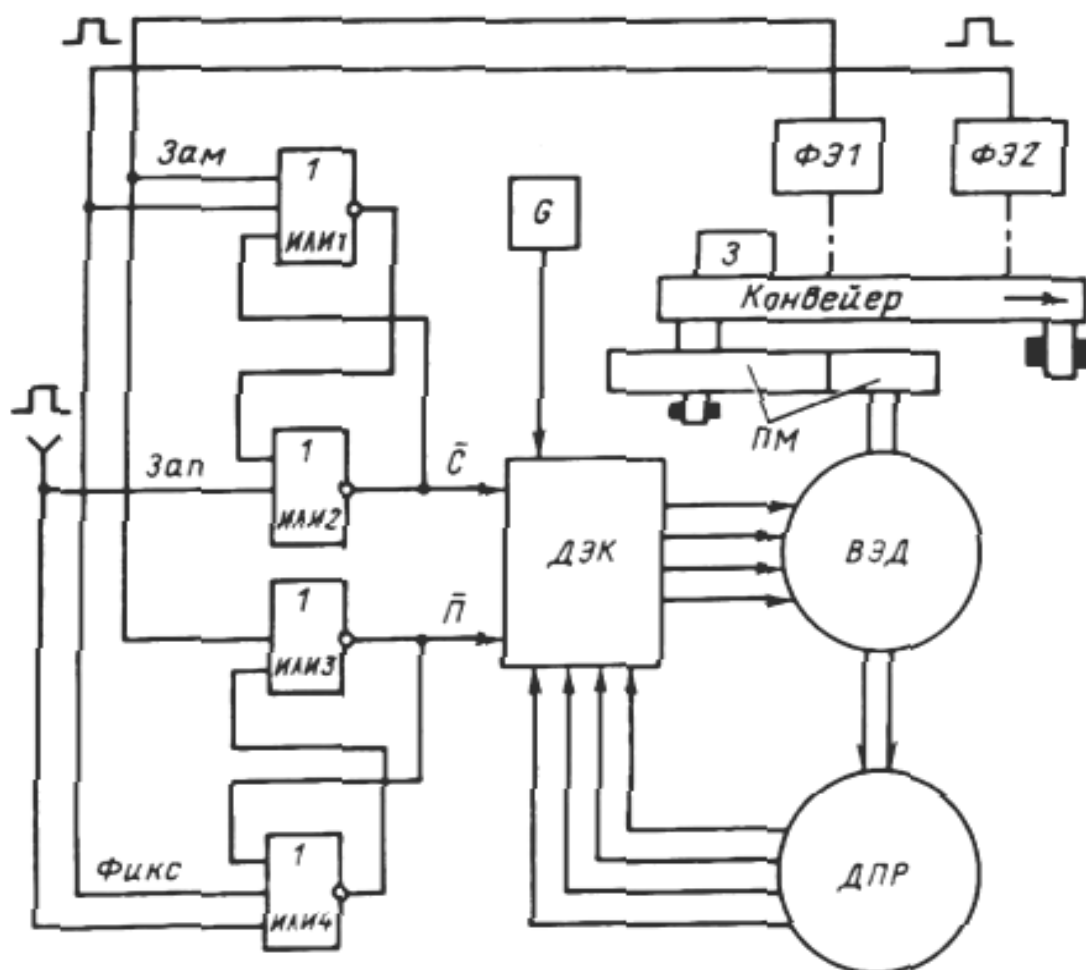


Рис. 3.20

Следует отметить, что наибольший эффект в такой системе позволяет получить применение ПЭК с синхронизацией в процессе переключения каналов пошагового управления и самокоммутации. Помимо устранения сбоев ВЭД при смене режимов работы такое построение ПЭК позволяет повысить помехоустойчивость работы ЭМТП в режиме пошагового управления, когда отработка очередного импульса контролируется путем соответствия состояния ПЭК выходными сигналами потенциального ДПР. В этом случае ЭМТП остается замкнутым и в режиме пошагового управления.

К недостаткам рассмотренного варианта построения системы следует отнести неполное использование возможностей вентильного электродвигателя, работающего в режиме самокоммутации с фиксированным нейтральным углом коммутации обмоток.

Для устранения недостатков дискретного ЭМТП с фиксированным углом коммутации предложен вариант построения устройства управления, позволяющий повысить скорость отработки ЦСП за счет оптимизации угла коммутации ВЭД, т.е. использования двойного управления ЭМТП.

Функциональная схема дискретного ЭМТП с переменным углом коммутации представлена на рис. 3.21.

Электромеханотронный преобразователь содержит ДЭК, ВЭД, ДПР1 и ДПР2, измеритель скорости (ИС) и логическое устройство (ЛУ), содержащее схему запрета, сумматор по модулю 2 (схема ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ) и D-триггер Т.

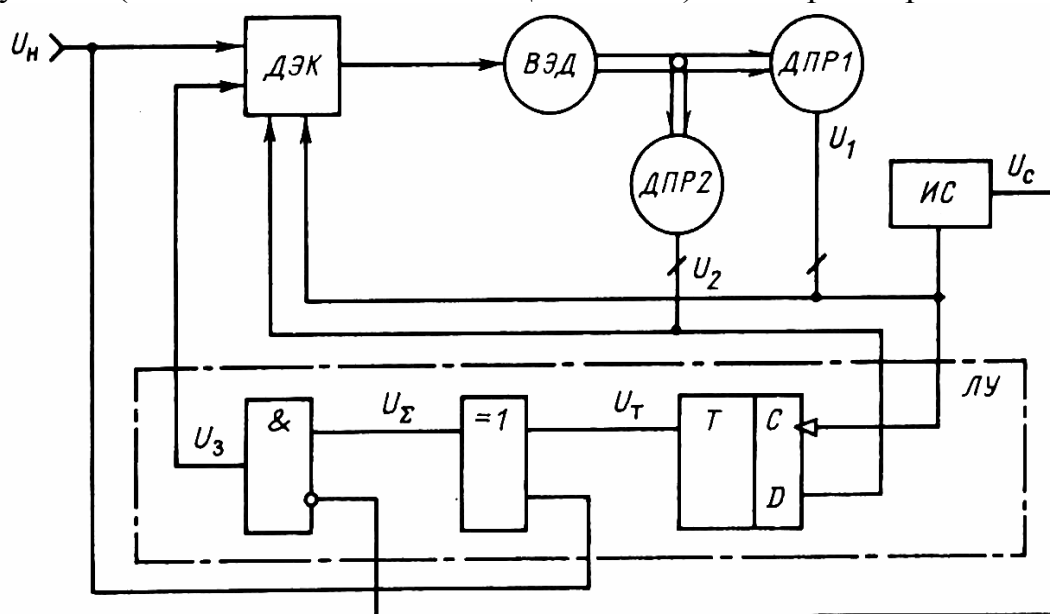


Рис. 3.21

Двухрежимный электронный коммутатор служит для переключения обмоток управления ВЭД по сигналам от ДПР1 или ДПР2. Направление вращения ротора ВЭД задается сигналом  $U_n$ , подаваемым на знаковый вход ДЭК.

Следует отметить, что реально ДПР1 и ДПР2 объединены в одном конструктивном устройстве. Оно представляет собой двухканальный фотоэлектрический ДПР с оптронными чувствительными элементами, прерывание излучения которых производится непрозрачным диском, имеющим прорези и сопряженным с ротором ВЭД. Взаимное расположение оптронных пар определяется выбранной системой коммутации, а число прорезей диска — числом пар  $p$  полюсов ротора.

В зависимости от уровня сигнала  $U_c$ , формируемого на выходе схемы запрета ЛУ, ДЭК формирует режим либо нейтральной коммутации по сигналам  $U_1$  ДПР1, либо опережающей коммутации по сигналам  $U_2$  ДПР2.

Триггер  $T$ , тактируемый фронтом, выявляет направление вращения ротора ВЭД. Определение направления вращения ротора основывается на логическом анализе информации, поступающей с выходов ДПР1 и ДПР2. Фронт выходных сигналов  $U_1$  ДПР1 при одном направлении вращения приходится на высокий уровень выходных сигналов  $U_2$  ДПР2, а при другом — на низкий.

Сумматор по модулю 2 выявляет совпадение заданного входным сигналом направления вращения  $U_n$  и фактического  $U_T$ , определяемого D-триггером  $T$ . В случае несовпадения этих направлений сумматор по модулю 2 вырабатывает сигнал  $U_1$ , запрещающий прохождение сигнала  $U_c$  с выхода ИС через элемент запрета.

Измеритель скорости по сигналу  $U_1$  ДПР1 определяет, достигла ли скорость перемещения ротора ВЭД некоторого порогового значения  $\Omega_n$ . Если текущая скорость  $\Omega_m < \Omega_n$ , то с ИС через элемент запрета подается команда на включение нейтральной коммутации, а если  $\Omega_m \geq \Omega_n$  — на включение опережающей коммутации.

Принцип работы ИС основан на заполнении временного интервала импульсов ДПР1 импульсами генератора высокой частоты. Следует отметить, что построение ЭМТП (рис. 3.21) позволяет повысить быстродействие ИС в 2 раза путем подачи на

его вход суммарной последовательности импульсов с выходов ДПР1 и ДПР2.

Представленное на рис. 3.21 устройство управления ВЭД работает следующим образом.

В исходном состоянии ротор ВЭД неподвижен. При подаче на вход устройства сигнала  $U_n$ , соответствующего определенному направлению вращения, ротор ВЭД начинает разгоняться в заданном направлении в режиме самокоммутации при нейтральной коммутации. При достижении ротором ВЭД скорости перемещения  $\Omega_n$  ИС вырабатывает сигнал  $U_c$  включения опережающей коммутации. Этот сигнал проходит через элемент запрета на вход ДЭК, поскольку заданное  $U_n$  и фактическое  $U_T$  направления перемещения совпадают, и ВЭД продолжает разгон на опережающей коммутации.

В том случае, когда сигнал на изменение направления перемещения пришел при работе ВЭД на опережающей коммутации, т.е. при работе в области высоких текущих скоростей перемещения  $\Omega_m \gg \Omega_n$ , сумматор по модулю 2 запретит прохождение через элемент запрета команды включения опережающей коммутации. Вентильный электродвигатель ВЭД перейдет в режим нейтральной коммутации и станет тормозиться до пороговой скорости перемещения  $\Omega_m = \Omega_n$ . Затем произойдет его реверс и разгон в новом направлении перемещения.

Таким образом, исключается включение реверса ВЭД при работе на опережающей коммутации и большой скорости перемещения его ротора, что может привести в режиме самокоммутации к ускорению ротора в прежнем направлении.

К недостаткам такого построения ЭМТП следует отнести неиспользование режима торможения ВЭД противовключением и динамического торможения введением отстающей коммутации.

### **3.3.3.2 ЭМТП с релейным и пропорциональным управлением.**

Существенное повышение эффективности ЭМТП с ВЭД достигается при варианте построения, предусматривающем применение двойного управления путем изменения - как угла коммутации его обмоток, так и напряжения на них.

Структурная схема ЭМТП с ВЭД представлена на рис. 3.22.

Система содержит задающее устройство (ЗУ), УС сигналов заданного положения и текущего положения ОУ. Регулятор ЭМТП содержит устройство выделения модуля (УВМ) сигнала рассогласования, управляющее ШИМ и ПУ, выходы которых

соединены с соответствующими входами ЭК, управляющего ВЭД. Задающим устройством в ЦСП является ПЦАП или СП, например КМ 1812ВЕ1, формирующий алгоритм управления ЭМТП. Возможности СП позволяют возложить на него функции УС.

С ротором ВЭД сопряжены двухканальный ДПР потенциального типа и подвижная часть ОУ, в состав которой входит преобразователь сигнала ПОС. Для формирования сигналов МОС используются выходные сигналы ДПР, поступающие на логические устройства ЛУ2 — ЛУ4 и в устройство задания алгоритмов (УЗА). Алгоритм управления ВЭД задается сигналами  $U_6$  и  $U_7$ , формируемыми на выходах ЛУ2 и ЛУ3.

Устройство сравнения определяет разность между задающим воздействием  $U_0$  и значением текущей координаты  $U_{20}$ , т. е.  $U_1 = U_0 - U_{20}$ , и формирует эту разность, например в виде напряжения постоянного тока. Устройство выделения модуля УВМ формирует зависимость  $U_2 = |U_1|$ .

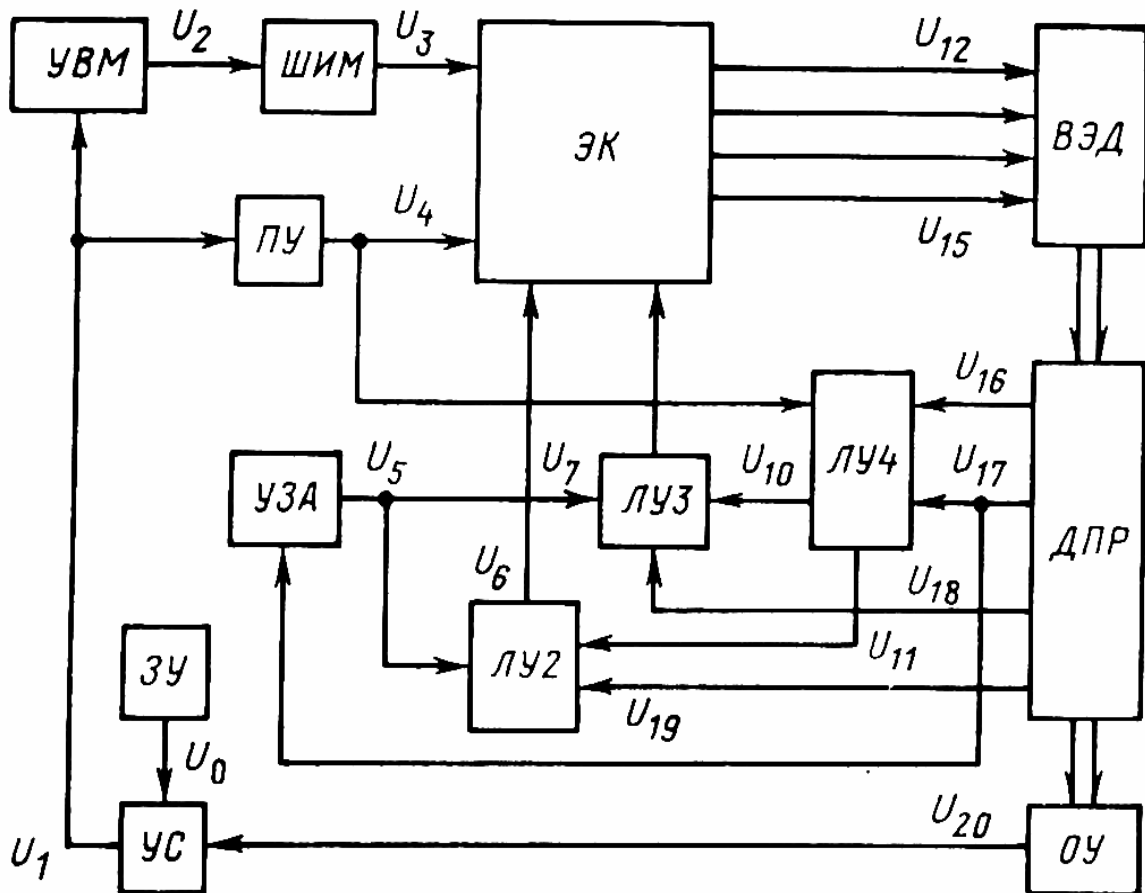


Рис. 3.22

При широтно-импульсной модуляции сигнал  $U_2$  преобразуется в последовательность положительных прямоугольных импульсов  $U_3$ , коэффициент заполнения  $p$  которой прямо пропорционален величине  $U_2$ . Пороговое устройство имеет два устойчивых состояния и формирует на своем выходе логический сигнал  $U_4=1$  при  $U_1 \geq 0$  или  $U_4=0$  при  $U_1 < 0$ .

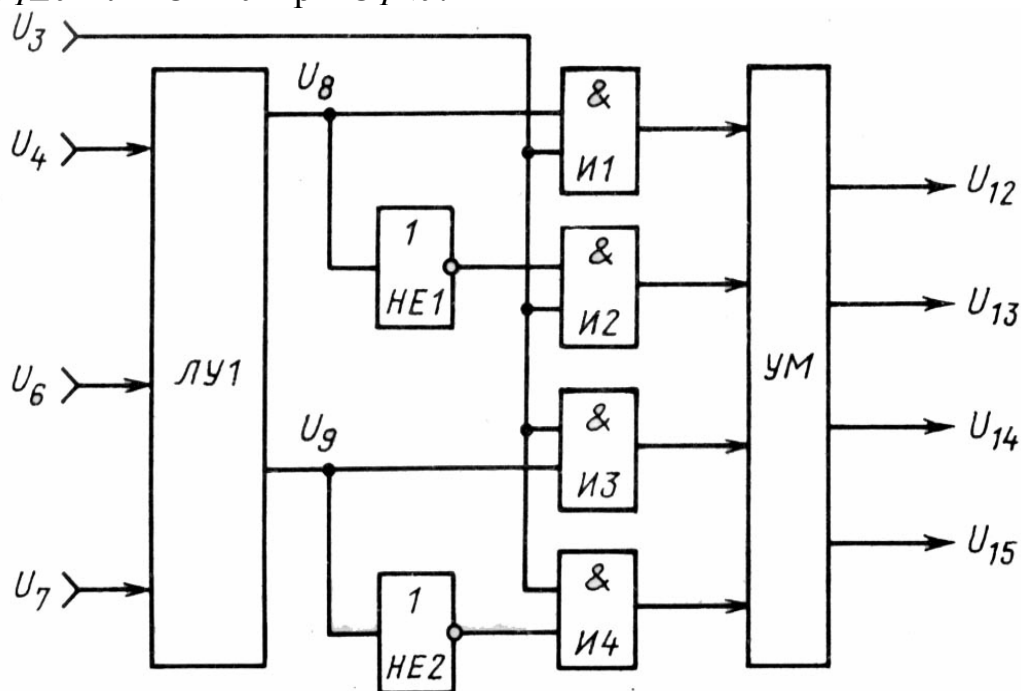


Рис. 3.23

Электронный коммутатор ЭК (рис. 3.23) состоит из ЛУ1, элементов НЕ1 и НЕ2, элементов И1 — И4 и УМ, причем ЛУ1 ЭК преобразует выходные сигналы  $U_6$  и  $U_7$  ЛУ2 и ЛУ3 (см. рис. 3.22) в зависимости от выходного сигнала  $U_4$  порогового устройства по следующим переключательным функциям:

$$U_8 = U_4 U_7 \vee \text{not}(U_4 U_7); \quad U_9 = U_4 U_6 \vee \text{not}(U_4 U_6).$$

Полученные на выходе ЛУ1 сигналы  $U_8$  и  $U_9$  с помощью логических элементов НЕ1 и НЕ2, И1 — И4 (рис. 3.23) преобразуются ШИМ в сигналы управления, которые после усиления их УМ в виде напряжений  $U_{12}$  —  $U_{15}$  поступают на обмотки управления ВЭД (рис. 3.22).

Двухканальный ДПР (см. рис. 3.22) осуществляет формирование на своих выходах четырех импульсных последовательностей, две из которых ( $U_{18}$  и  $U_{19}$ ) можно непосредственно использовать для управления ВЭД в режиме нейтральной коммутации его обмоток. Для формирования сигналов управления ВЭД в режиме опережающей коммутации используются выходные сигналы  $U_{16}$  и  $U_{17}$  ДПР, которые



проходят предварительное преобразование в ЛУ4, где преобразуются в соответствии с переключательными функциями  
 $U_{10} = U_4 \text{ not}(U_{16}) \vee \text{ not}(U_4) U_{17}$ ;  $U_{11} = U_4 U_{17} \vee \text{ not}(U_4) U_{16}$ .

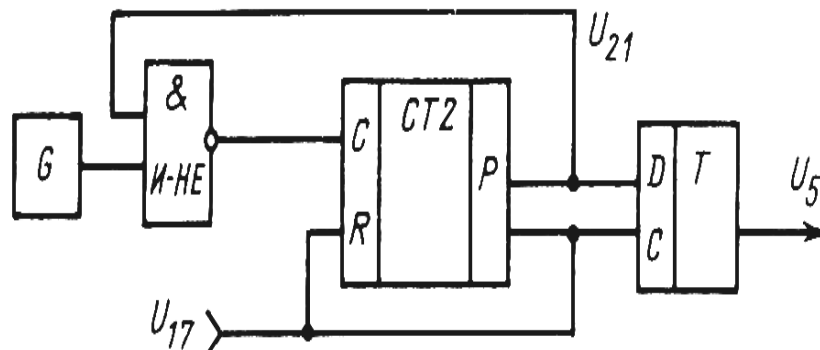


Рис. 3.24

В зависимости от выходного сигнала  $U_5$  триггера  $T$  УЗА, схема которого показана на рис. 3.24, логические устройства ЛУ2 — ЛУ4 (см. рис. 3.22) подключают ко входам логического устройства ЛУ1 (см. рис. 3.23) либо выходные сигналы  $U_{18}$  и  $U_{19}$  ДПР, либо выходные сигналы  $U_{10}$  и  $U_{11}$  логического устройства ЛУ4 в соответствии с переключателями функциями

$$U_6 = U_5 U_{19} \vee \text{ not}(U_5) U_{11}; \quad U_7 = U_5 U_{18} \vee \text{ not}(U_5) U_{10}.$$

Устройство задания алгоритма (УЗА) (рис. 3.24) имеет релейную характеристику:  $U_{21} = 1$  при  $|\Omega| \leq \Omega_n$  или  $U_{21} = 0$  при  $|\Omega| > \Omega_n$ , где  $\Omega_n$  — некоторое пороговое значение скорости перемещения ротора ВЭД.

Измерение скорости перемещения производится путем заполнения временного интервала между фронтами импульсов выходного сигнала  $U_{17}$  ДПР импульсами генератора импульсов  $G$ . Триггер  $T$  D-типа служит для преобразования выходного сигнала  $U_{21}$  двоичного счетчика  $CT2$  устройства задания алгоритма в потенциальный сигнал  $U_5$ , т.е. осуществляет запоминание результата измерения на период работы УЗА.

Работает ЭМТП с ВЭД следующим образом.

Сначала рассмотрим работу ЭМТП с дискретной коммутацией обмоток ВЭД при отсутствии ШИМ, т.е. при  $U_3 = 1$ .

Работа вентильного электропривода в режиме нейтральной коммутации при угле коммутации  $\psi = 0$ , и в режиме опережающей коммутации при  $\psi = 45^\circ$  поясняется временными диаграммами на рис. 3.25, а и б соответственно.

Угол коммутации  $\psi = \gamma - \text{not}(\theta) - 90^\circ$ , где  $\gamma$  — угол поворота вектора поля статора;  $\theta$  — среднее за период коммутации значение угла поворота ротора ВЭД.

Пусковой момент, прикладываемый к ротору ВЭД, пропорционален  $\sin(\gamma - \theta)$ .

Сопоставление диаграмм на рис. 3.25, а и б показывает, что среднее значение пускового момента при угле коммутации  $\psi = 0$  больше, чем при  $\psi = 45^\circ$ . Однако при увеличении скорости перемещения ротора ВЭД это соотношение изменяется на противоположное за счет немгновенного нарастания тока в его обмотках управления, т.е. наличия в них электромагнитного запаздывания, определяемого постоянной времени обмоток.

Пользуясь известным уравнением, можно построить механические характеристики ВЭД при угле коммутации  $\psi = 0$  и  $\psi = 45^\circ$  (рис. 3.26, а). Таким образом, если в рассматриваемом ЭМТП (см. рис. 3.22) реализовать переключение угла коммутации с нейтрального, когда  $\psi = 0$ , на опережающий, когда  $\psi = 45^\circ$ , при достижении относительной скорости перемещения с пороговым значением  $\Omega_n$ , то результирующая механическая характеристика будет иметь значение пускового момента  $\mu_{\text{пус}}$ , соответствующее нейтральной коммутации, а значение скорости перемещения холостого хода  $\Omega_{x.x}$  — опережающей.

Значение приведенной пороговой скорости  $\Omega_n$  может быть определено из уравнения механической характеристики ВЭД.

Рассмотрим особенности работы ЭМТП с ВЭД при работе с ШИМ, т.е. когда  $U_3$  представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с коэффициентом заполнения  $p$ . Механическая характеристика ВЭД представляет собой функцию  $\mu = f(p, \Omega)$ .

Регулировочные характеристики ЭМТП с ВЭД в этом случае имеют вид, представленный на рис. 3.26, б.

В связи с тем, что смена режимов работы ВЭД в ЭМТП производится переключением выходных сигналов  $U_6$  и  $U_7$  ЛУ2 и ЛУ3 к входам ЭК по сигналу  $U_5$  устройства задания алгоритма УЗА, рассмотрим более подробно его работу.

На вход УЗА управления сигнал  $U_{17}$  поступает с одного из выходов ДПР (см. рис. 3.22) в виде последовательности прямоугольных импульсов, частота следования которых определяется скоростью перемещения ротора ВЭД. При поступлении на вход  $R$  двоичного счетчика СТ2 (см. рис. 3.23) очередного импульса с выхода ДПР счетчик СТ2 устанавливается

в нулевое положение. В паузе между импульсами сигнал установки СТ2 снят и производится счет импульсов, поступающих на его вход через элемент И — НЕ от генератора импульсов G.

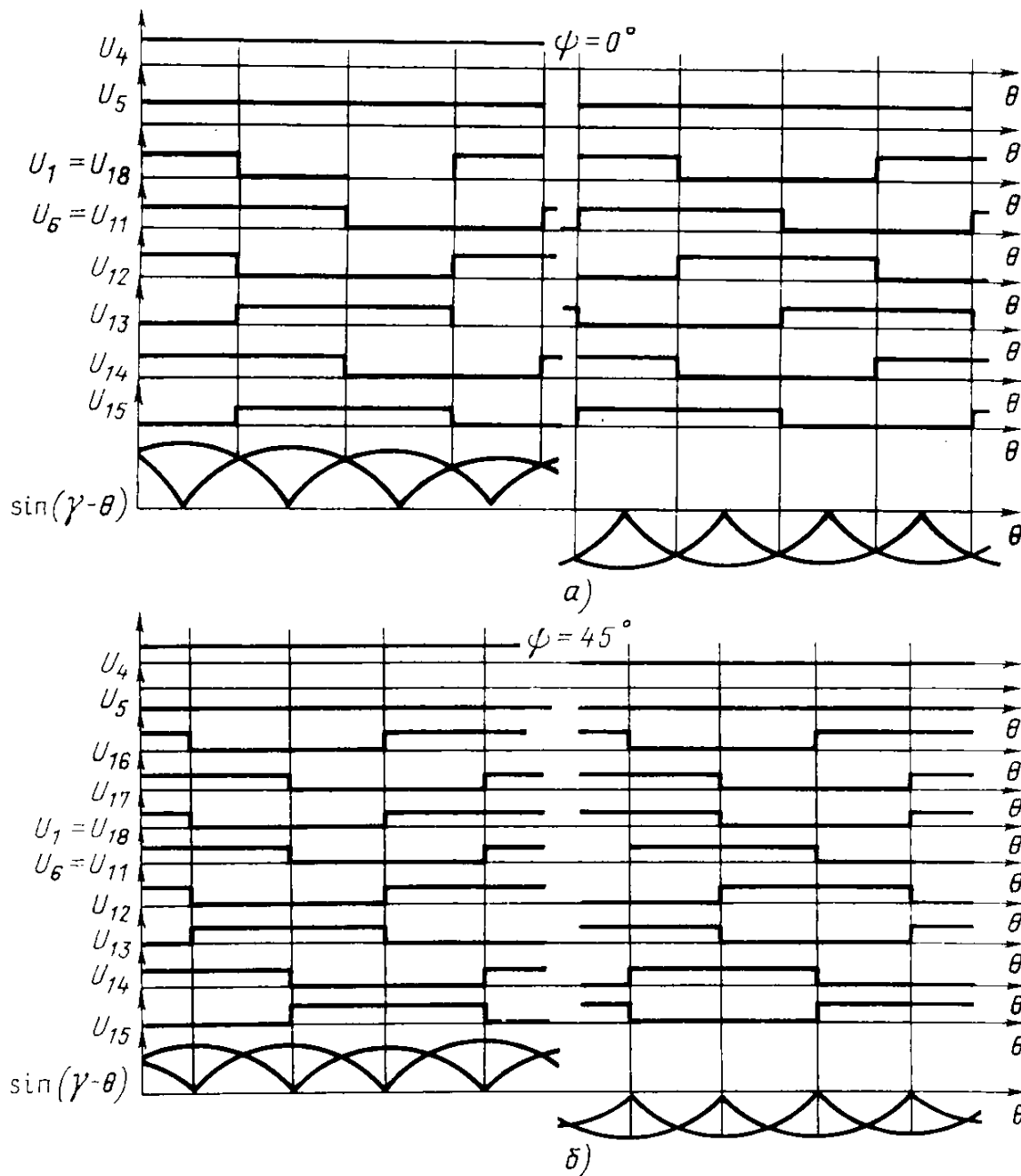


Рис. 3.25

Счет импульсов в СТ2 происходит до тех пор, пока счетчик не заполнится и на его выходе  $P$  не возникнет сигнал переноса, который запретит дальнейшее прохождение импульсов генератора импульсов G через элемент И — НЕ, либо до прихода

следующего импульса от ДПР на вход УЗА управления. В первом случае фронтом импульса  $U_{17}$  в триггер  $T$  запишется потенциал логической единицы, т.е. скорость перемещения ротора ВЭД мала и  $\Omega \leq \Omega_n$ , во втором случае запишется потенциал логического нуля, что означает, что скорость эта достаточна для перехода на режим опережающей коммутации, т.е.  $\Omega \geq \Omega_n$ .

Работа ЭМТП при гармоническом и скачкообразном задающих воздействиях  $U_o$  поясняется на временных диаграммах, представленных на рис. 3.27.

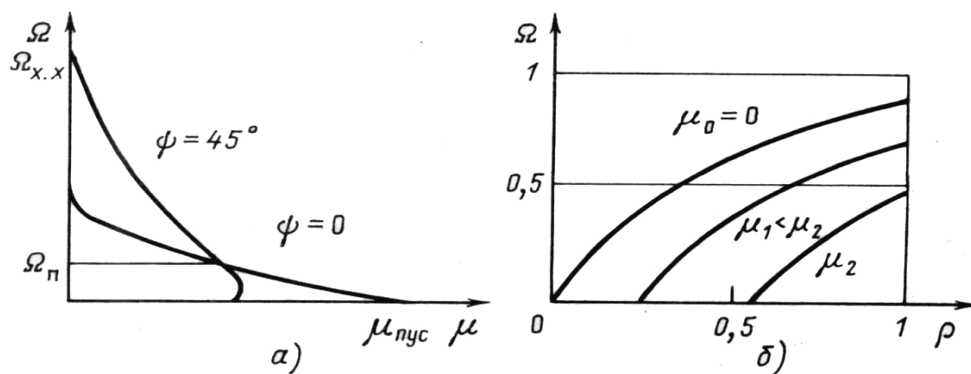


Рис. 3.26

При скачкообразном входном воздействии (рис. 3.27, а) ЭМТП работает следующим образом.

В течение первого временного интервала  $t_1 - t_2$  устройство сравнения УС (см. рис. 3.22) вырабатывает положительный сигнал рассогласования  $U_1$  большего значения. Этот сигнал через УВМ поступает на вход ШИМ и вводит его в насыщение, при котором сигнал  $U_3 = 1$ . Пороговое устройство выявляет требуемое направление перемещения, и ВЭД начинает разгоняться по сигналам канала нейтральной коммутации ДПР.

В момент времени  $t_2$  скорость  $\Omega$  перемещения ротора ВЭД достигает порогового значения  $\Omega_n$ , что фиксируется УЗА. На его выходе вырабатывается сигнал  $U_5 = 0$ , т.е. формируется команда перехода на опережающую коммутацию. Дальнейший разгон ротора ВЭД на участке  $t_2 - t_3$  происходит на опережающей коммутации.

При подходе ЭМТП к новому согласованному положению, заданному входным воздействием  $U_o$ , широтно-импульсный модулятор ШИМ переходит из зоны насыщения в линейную зону, сигнал  $U_0$  на его выходе становится последовательностью импульсов, пропорционально скважности которой уменьшается вращающий момент ВЭД и начинается процесс его торможения.

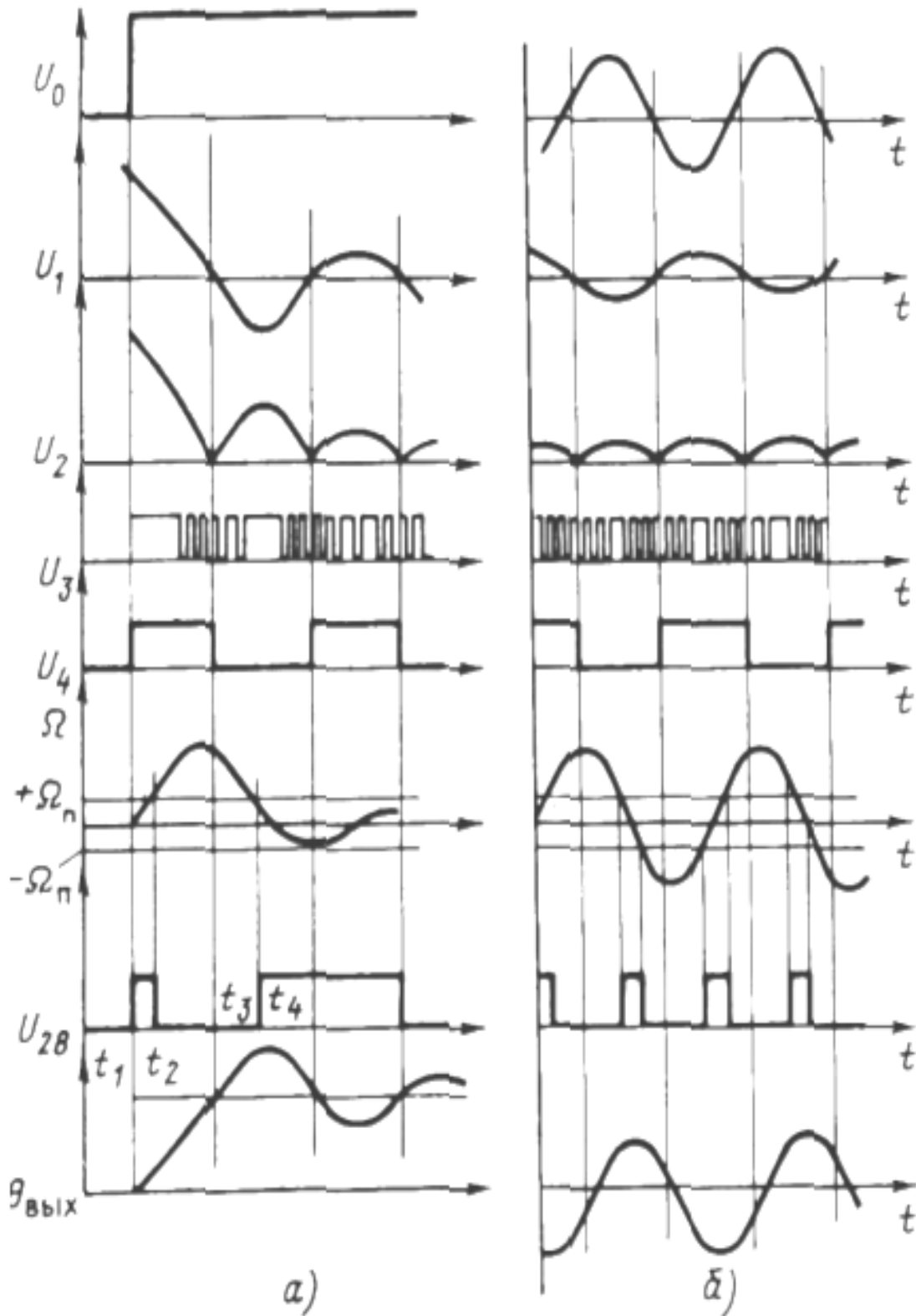


Рис. 3.27

В момент времени  $t_3$  сигнал рассогласования  $U_1$  на выходе УС меняет знак, сигнал  $U_4$  на выходе ПУ становится равным нулю и ВЭД переводится в режим торможения противовключением. Начиная с момента  $t_4$ , где скорость перемещения становится равной  $\Omega_n$ , ВЭД переводится на нейтральную коммутацию, и

завершение процесса обработки ступенчатого входного воздействия происходит на этой коммутации. Статическая погрешность ЭМТП определяется погрешностями преобразователя сигнала ПОС, чувствительного УС и моментной погрешностью ВЭД. Чем выше момент нагрузки, приведенный к его валу, тем она больше.

Процесс обработки гармонического входного воздействия происходит аналогичным образом (рис. 3.27, б) и в дополнительных пояснениях не нуждается. Важно отметить, что выходной сигнал имеет определенное отставание от входного, что связано с динамическими свойствами ЭМТП с ВЭД.

Рассмотренный вариант построения ЭМТП с дискретным управлением ВЭД позволяет более полно использовать энергетические возможности электродвигателя за счет переключения угла коммутации и тем самым увеличить быстродействие ЭМТП в 2—5 раз, в зависимости от типа применяемого ВЭД, повысить не менее чем в 2 раза статическую точность системы и существенно повысить помехоустойчивость по сравнению с аналогичными показателями известной релейной следящей системы. Столь резкое повышение эффективности ЦСП получено за счет применения переменных алгоритмов управления в сочетании с повышением уровня и степени информационного обеспечения.

К недостаткам варианта построения ЭМТП по рис. 3.22 следует отнести ограничения по быстродействию, связанные с использованием только одной дополнительной ступени опережающей коммутации. Причиной этого является недостаточная степень информационного обеспечения путем выявления возможных уровней скорости.

### **3.3.4 ЦСП прямого преобразования**

Традиционное построение ЦСП с предварительным ПФИ из цифровой в аналоговую и последующим преобразованием этого сигнала в угол поворота непрерывным или дискретным ЭМТП было оправдано низким быстродействием электромеханического преобразования. Это ограничение в равной степени относится к замкнутым и разомкнутым ЭМТП с ШЭД и ВЭД, использующими традиционные способы и алгоритмы управления.

Применение более совершенных способов и алгоритмов управления дискретным ЭМТП в сочетании с МПС позволяет повысить быстродействие в десятки раз, приблизив частоту

отработки дискретных перемещений к частоте обновления информации на выходе ЭВМ.

Это существенным образом меняет традиционные концепции построения ЦСП и взаимодействия ее с ЭВМ. Целесообразным становится прямое преобразование цифровой информации от ЭВМ в перемещения с помощью быстродействующих ЭМТП, в которых аналоговые устройства используются для информационного обеспечения процесса преобразования путем формирования цифровых эквивалентов параметров движения.

Помимо повышения быстродействия и точности цифроаналогового преобразования такой подход к построению ЦСП позволяет решить задачу единого информационного обеспечения на основе использования единого первичного преобразователя в сочетании с вторичным аналого-цифровым преобразованием его сигналов в цифровые эквиваленты перемещения, его скорости и ускорения. Это существенным образом упрощает конструкцию ИСМ и уменьшает количество связей между ним и электронной частью системы.

Наибольший эффект от использования концепции единого информационного обеспечения достигается в безредукторных системах, где первичный преобразователь перемещения позволяет сформировать сигналы, необходимые для коммутации обмоток управления ВЭД, т.е. осуществить функции ДПР. Высокая информационная емкость трактов преобразования информации о перемещении и его скорости позволяют реализовать квазиоптимальное управление ЭМТП с более высокой степенью оптимизации, чем это достигнуто в рассмотренных выше вариантах.

Структурная схема ЦСП, обеспечивающей непосредственное преобразование выходной информации ЭВМ в перемещения, представлена на рис. 3.28.

Электромеханотронный преобразователь включает в себя ВЭД, ЭК, ЛУ и КД. Вентильный электродвигатель и КД образуют ИСМ, являющийся связующим звеном между ЭВМ, ЦСП и ОУ. Обмен информацией между ЭВМ и ЭМТП производится в виде кодовых сигналов, а МОС может быть кодовой, потенциальной или импульсной.

Логические функции контуров ПОС и МОС принципиально могут выполняться самой ЭВМ, однако многоцелевое использование основного вычислителя (ЭВМ высшего уровня)

делает невозможным исключение внешних промежуточных устройств ввиду отсутствия свободного машинного времени.

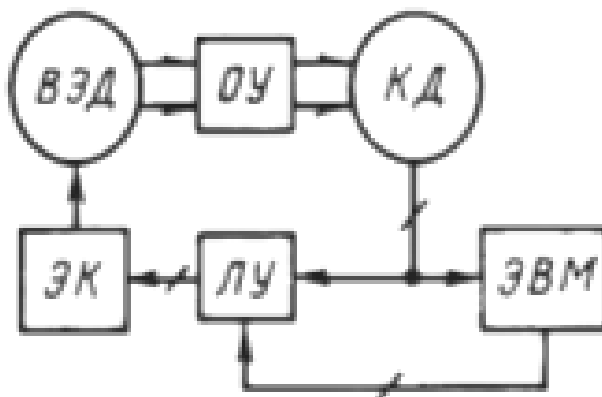


Рис. 3.28

При работе ВЭД в замкнутом контуре с ЭВМ на каждом дискретном перемещении должно приниматься решение относительно последующей команды, что даже с помощью эффективной подпрограммы занимает 500 мкс. В том случае, когда преобразование в ЦСП ведется со скоростями в несколько десятков тысяч дискретных перемещений в секунду, доля вычислительного времени на одну ЦСП составляет от 50 до 100% машинного времени ЭВМ. Применение в ней специальных буферных устройств исключается из-за необходимости управления ИСМ в реальном времени.

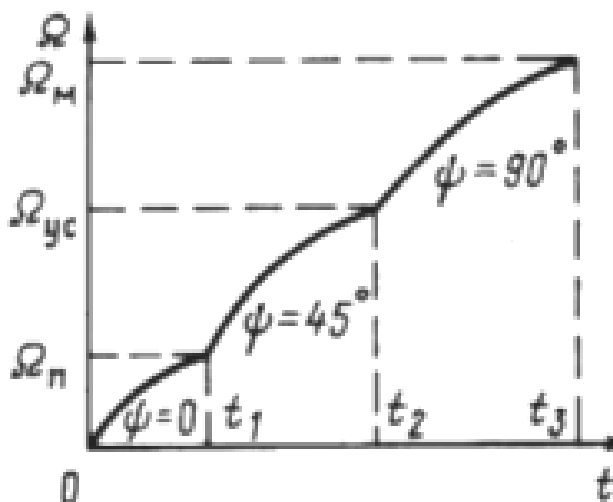


Рис. 3.29

Предложено ввести в состав ЭМТП промежуточное ЛУ, которое позволяет ослабить связь ЦСП с ЭВМ. Связь в этом случае сводится к начальному, конечному и некоторым промежуточным воздействиям.



Логическое устройство ЛУ обеспечивает обработку информации, подлежащей преобразованию, и формирует управляющие сигналы на полирежимный ЭК. Оно является специализированным контроллером, обеспечивающим изменение алгоритмов и способов управления ВЭД в функции двух параметров ЦСП: позиционной ошибки и скорости перемещения.

Регулирование скорости перемещения ВЭД производится изменением угла коммутации  $\psi$  (рис. 3.29). Из состояния фиксации ротор вентильного электродвигателя перемещается в прямом или обратном направлении на нейтральной коммутации ( $\psi=0$ ), при работе на которой обеспечивается максимальный пусковой момент. В момент времени  $t_1$  скорость перемещения ротора достигает пороговой скорости  $\Omega_n$ , что фиксируется измерителем скорости перемещения ЛУ. Если рассогласование  $\Delta\theta$  достаточно велико, то ЛУ формирует командный сигнал на включение ЭК опережающей коммутации с  $\psi=45^\circ$  и ротор ВЭД продолжает ускоряться в прежнем направлении до скорости перемещения  $\Omega_{yc}$ . После фиксации в момент времени  $t_2$  скорости перемещения  $\Omega_{yc}$  ЛУ производит оценку рассогласования, и если оно по-прежнему велико (превышает путь, необходимый для реализации торможения с предельной скорости перемещения), то формируется командный сигнал на включение электронным коммутатором следующей ступени опережающей коммутации с  $\psi=90^\circ$  и ротор под действием ускоряющего поля в момент времени  $t_3$  достигает маршевой скорости перемещения  $\Omega_m$ , что фиксируется измерителем скорости перемещения логического устройства. Отработка рассогласования производится на этой скорости перемещения до тех пор, пока значение рассогласования превышает путь, необходимый для торможения с маршевой скорости перемещения. Поэтому при проектировании подобных систем необходимо в первую очередь оптимизировать процесс торможения с маршевой скорости перемещения  $\Omega_m$ .

Торможение противовключением в диапазоне скоростей перемещения  $\Omega_{yc} — \Omega_m$  невозможно в связи с тем, что изменение опережающего угла коммутации  $\psi= +90^\circ$  на отстающий  $\psi= -90^\circ$  не приведет к изменению знака момента, действующего на ротор, который будет продолжать перемещение в прежнем направлении.

Для торможения ротора угол коммутации изменяется в обратной последовательности, чем при разгоне, т.е. происходит переход на угол  $\psi=45^\circ$ , а после достижения ротором скорости перемещения  $\Omega_n$  либо включается нейтральная коммутация, либо

производится торможение противовключением. Последний вариант предпочтителен в том случае, когда производится преобразование знакопеременных перемещений и рассогласование к моменту достижения ротором скорости перемещения  $\Omega_{yc}$  изменило знак. Это позволяет поднять быстродействие ЦСП в переходных режимах и повысить частоту реверса системы.

Измерение параметров производится непосредственно в ЛУ, которое одновременно является цифровым генератором ошибки для ЭМТП с ВЭД. Позиционная ошибка измеряется путем подсчета числа импульсов по каналу МОС, а скорость отработки — путем замера частоты их следования.

В зависимости от рассогласования и скорости его отработки производится изменение угла коммутации ВЭД и обеспечивается оптимизация его динамических характеристик. Изменение угла коммутации производится ступенчато и при дискретности канала МОС, соответствующей дискретности перемещения ВЭД, может исчерпывающе характеризоваться числом дискрет, на которое сигнал на обмотках управления ВЭД опережает проходимое его ротором положение. Более плавное изменение угла коммутации обмоток ВЭД возможно при большей информационной емкости КД. В этом случае ЛУ позволяет оптимизировать процессы разгона и торможения электродвигателя путем введения опережения или отставания в коммутации обмоток управления.

Точная реализация оптимального закона управления может быть получена только при непрерывном (аналоговом) принципе реализации регулятора. В цифровом варианте системы принципиально невозможно воспроизведение оптимальной траектории движения, поскольку возможна только ее ступенчатая аппроксимация. Немаловажным фактором при определении степени оптимизации является требование максимальной простоты системы, вынуждающее использовать более грубую аппроксимацию, чем это допускает информационная емкость измерителей  $\Delta\theta$  и  $\Omega$ . Учитывая реальные ограничения, налагаемые схемными решениями, и допуская умеренные отступления от оптимального закона управления, можно построить квазиоптимальную систему, т.е. такую ЦСП, которая является оптимальной или близкой к ней для определения области типичных начальных ее состояний.

Для формирования линии переключения в квазиоптимальной системе используется ЛУ, представляющее собой релейный

многоступенчатый формирователь угла коммутации ВЭД. В пределах каждой такой ступени алгоритм управления ВЭД остается неизменным. Число ступеней при движении в одном из двух направлений определяется количеством опережений, используемых в процессе перемещения. Их максимальное число достигает семи при использовании самокоммутации в сочетании с микропрограммным управлением. На практике оказывается достаточным использование трехступенчатой аппроксимации двоичными уровнями  $\Delta\theta$  с использованием сочетания элементарного и неэлементарного алгоритмов коммутации ВЭД.

На рис. 3.30 представлено графическое отображение логики формирования такого закона управления. Обозначения уровней скорости в нем соответствуют принятым на рис. 3.31.

Для повышения плавности движения при отработке малых перемещений, в процессе пуска и торможения в состав системы вводится ПКШ, обеспечивающий регулирование напряжений на обмотках ВЭД в функции ошибки ЦСП.

В большинстве случаев функции логического устройства целесообразно возложить на МПС. Для получения информации о скорости перемещения необходимо реализовать операцию цифрового тахометрирования сигналов МОС, что удобно осуществить с помощью сочетания аппаратных средств и микроЭВМ. При умеренном быстродействии получение цифрового эквивалента скорости может быть реализовано в микроЭВМ программным методом путем цифрового дифференцирования кода перемещения. Для систем повышенного быстродействия формирование цифрового эквивалента скорости перемещения ротора ВЭД целесообразно производить автономно в составе многокомпонентного (полифункционального) АЦП перемещений.

С учетом изложенного выше структурная схема ЦСП может быть представлена в виде, показанном на рис. 3.31.

В ней в качестве первичного преобразователя используется СКВТ, выходные системы которого преобразуются вторичным двухкомпонентным ЦПП в цифровые эквиваленты угла  $\Phi$  и скорости его изменения.

Микропроцессорное средство (МПС) программным методом формирует код рассогласования  $\Delta\Phi$ , поступающий на ПКШ и командные сигналы на изменение алгоритма управления ВЭД через ПЭК. Для удобства программирования с пульта ЭК должен выполняться полирежимным, что обеспечивает управление

перемещением от внешнего генератора импульсов по команде оператора. Это позволяет использовать программирование методов обучения. В данном случае информация о перемещении ОУ в цифровой форме вводится в память ЭВМ через СКВТ и ЦПП; ВЭД работает в режиме пошагового управления, канал МОС, замыкаемый через ЭВМ, отключен.

В рабочем режиме, когда происходит преобразование выходной цифровой информации ЭВМ в перемещение ОУ, ЭМТП работает в режиме самокоммутации по сигналам МОС. После ввода данных в МПС основная ЭВМ отключается от ЦСП и не получает информацию о текущем положении ОУ, что соответствует размыканию контура ПОС, а ЭВМ высшего уровня решает другие задачи.

В эти периоды текущая информация о значении и скорости перемещения передается в микроЭВМ по каналу МОС либо в виде позиционного кода, либо в числоимпульсной форме. При разомкнутом контуре ПОС не исключена возможность потери информации в контуре МОС, особенно при ее числоимпульсной реализации. Причиной потери информации может быть и сбой в работе МПС, пропадание напряжения питания.

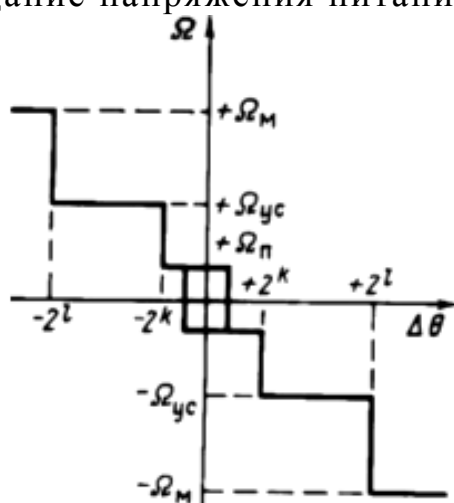


Рис. 3.30

Дополнительные требования к помехоустойчивости ЭК возникают при использовании числоимпульсной МОС. Высокий уровень помехоустойчивости в этом случае достигается за счет применения потенциального управления ЭК в сочетании с насыщенными низкочастотными элементами памяти. Подобные меры вступают в противоречие с требованиями повышения быстродействия и возможности использования ШИМ фазных напряжений ВЭД.

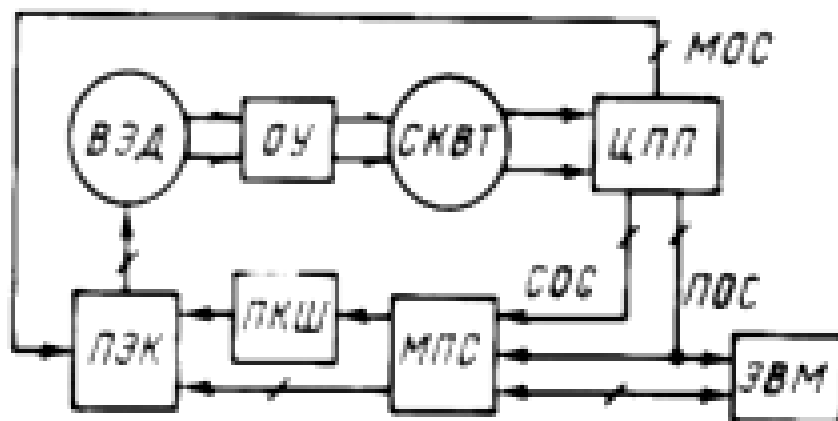


Рис. 3.31

Для удовлетворения этих противоречивых требований обычно идут на компромисс, который дает удовлетворительную устойчивость при требуемом быстродействии, что имеет следствием определенную вероятность возникновения потери информации при разомкнутом контуре ПОС и числоимпульсном варианте реализации МОС

С учетом требования абсолютной надежности процесса преобразования ЦСП, после отработки каждого цикла программного перемещения необходимо определить положение ОУ относительно положения, принятого за начало отсчета, которому в системе на рис. 3.31 соответствует нулевое положение СКВТ, и произвести коррекцию. Для коррекции перемещения после окончания отработки микроЭВМ вновь подключается к ЭВМ, которая на основе информации от ЦПП производит требуемую коррекцию положения ОУ.

Следует отметить, что в многоканальных системах возможно в режиме коррекции использовать один более точный ЦПП. Такой подход делает в ряде случаев целесообразным использование в режиме отработки только ДПР потенциального или импульсного типа, формирующего сигналы МОС.

Таким образом, рассмотренное построение ЦСП позволяет в значительной мере ослабить связь с ЭВМ, высвободив время для работы с другими системами, и обеспечивает эффективный периодический контроль положения ОУ.

Существенным достоинством такого варианта построения является то, что коррекция производится в статике или на низких скоростях перемещения ЭМТП, что не предъявляет высоких требований к быстродействию процесса преобразования угла в код. Ввод поправок в режиме пошагового управления облегчает процесс коррекции. Применение в качестве датчиков ПОС, МОС

и СОС преобразователей абсолютного типа ведет к существенному повышению помехоустойчивости и достоверности преобразования.

Изложенное выше, с учетом неперемного использования в УМ широтно-импульсной модуляции, позволяет реализовать экономичные и надежные ЦСП, обладающие высокими быстродействием и точностью.

Если до недавнего времени подобное построение могло быть реализовано в ЦСП, стоимость которых не играла первостепенного значения, то теперь достижения в области схемотехники ЦПП на основе аналоговых первичных преобразователей позволяют построить ЦПП абсолютного типа с высокими информационными показателями при умеренной стоимости, не превосходящей стоимости числоимпульсных (инкрементальных) преобразователей с сопоставимой информационной емкостью и размерами, но превышающими их своими функциональными возможностями при формировании цифровых эквивалентов ускорения, скорости перемещения и его проекций.

Последнее обстоятельство позволяет в значительной степени разгрузить ЭВМ, высвободив ее машинное время за счет исключения операций двукратного цифрового дифференцирования и тригонометрических преобразователей, которые необходимо производить в ЭВМ при реализации единого информационного обеспечения на основе числоимпульсного, потенциального или кодирующего преобразования.

Реализация соответствующего уровня информационного обеспечения ЦСП позволяет использовать более эффективные алгоритмы управления ЭМТП: оптимальные и адаптивные. Особую роль при этом играют динамические свойства ШЭД и ВЭД.

### **3.4 ТРЕНИРОВОЧНОЕ ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ 3**

- Функциональная схема автономного ЭП с ЭДПТ. Основной алгоритм функционирования.
- Основные принципы управления исполнительными ЭДПТ.
- Функциональная схема ЭП с ЭДПТ с ШИП. Основной алгоритм функционирования.
- Структура ЦСП с разомкнутым ЭМТП на основе ШЭД. Основной алгоритм функционирования.

- Основные особенности микропрограммного управления приводом с ШЭД.
- Структура ЦСП замкнутого типа на основе ШЭД . Основной алгоритм функционирования.
- Основные особенности оперативного изменения алгоритмов управления ШЭД в процессе работы.
- Структура ЦСП замкнутого типа на основе ВЭД . Основной алгоритм функционирования.
- Использование принципов адаптивного управления ВЭД.
- Использование принципов релейного управления ВЭД.
- Использование принципов пропорционального управления ВЭД.
- Основные принципы построения ЦСП прямого преобразования. Особенности построения и функционирования.

#### 4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домрачев, Ю.С. Смирнов. Цифро-аналоговые системы позиционирования. М., Энергоатомиздат, 1990.
2. Волков, В.П. Миловзоров. Электромашинные устройства автоматики. Учебное пособие для ВУЗов. М., Высшая школа, 1986.
3. Ахметжанов, А.В. Кочемасов. Следящие системы и регуляторы. Учебное пособие для ВУЗов. М., Энергоатомиздат, 1986.
4. Сабинин. Электромашинные устройства автоматики. Учебник для ВУЗов. М., Энергоатомиздат, 1988.
5. Андре, Ж-М. Кофман, Ф. Лот, Ж-П. Тайар. Конструирование роботов. М., Мир, 1986.
6. Ю.В.Блинков. Цифровые системы позиционирования и электроприводы вычислительных систем. Методические указания к лабораторным работам. Пенза, ППИ, 1993
7. Ю.В.Блинков, В.А.Клевалин, В.В.Марченко. Проектирование электроприводов роботов. Учебное пособие. Пенза, ППИ, 1990



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.....                                                          | 3  |
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                         | 4  |
| 1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ.....                       | 6  |
| 1.1 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА В РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ. ....                           | 6  |
| 1.1.1 Структура и конструкция робота. ....                                             | 10 |
| 1.1.2 Рабочие органы робота .....                                                      | 11 |
| 1.1.3 Звенья.....                                                                      | 12 |
| 1.1.4 Манипуляторы.....                                                                | 13 |
| 1.1.5 Управление движением.....                                                        | 13 |
| 1.1.6 Механика манипуляторов.....                                                      | 16 |
| 1.1.7 Основные типы сочленений .....                                                   | 17 |
| 1.1.8 Степени свободы манипулятора .....                                               | 19 |
| 1.1.9 Методы описания кинематики манипуляторов. ....                                   | 24 |
| 1.1.10 Общепринятые структуры .....                                                    | 28 |
| 1.2 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ....             | 36 |
| 1.2.1 Обобщенная структура .....                                                       | 36 |
| 1.2.2 Разновидности электромеханических систем и основные принципы их построения. .... | 38 |
| 1.2.3 НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦСП .....                                    | 44 |
| 1.3 ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....                   | 54 |
| 1.4 ТРЕНИРОВОЧНОЕ ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ 1.....                                             | 57 |
| 2. ЭЛЕМЕНТЫ ЭМС. ....                                                                  | 59 |
| 2.1 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ .....                                                      | 59 |
| 2.1.1 Разновидности исполнительных элементов.....                                      | 59 |
| 2.1.2 Двухфазные индукционные двигатели.....                                           | 59 |
| 2.1.3 Двигатели постоянного тока с независимым возбуждением .....                      | 63 |
| 2.1.4 Выбор исполнительного электродвигателя .....                                     | 65 |
| 2.1.5 Передаточные функции исполнительных двигателей .....                             | 67 |
| 2.1.6 Шаговые электродвигатели .....                                                   | 69 |

|       |                                                                             |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1.7 | Вентильные двигатели .....                                                  | 73  |
| 2.2   | ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ .....                                                | 80  |
| 2.2.1 | Измерительные элементы с ограниченным диапазоном углового перемещения ..... | 80  |
| 2.2.2 | Синусно – косинусные вращающиеся трансформаторы .....                       | 85  |
| 2.2.3 | Модификации ВТ .....                                                        | 88  |
| 2.2.4 | Линейные ВТ .....                                                           | 90  |
| 2.2.5 | Сельсины .....                                                              | 91  |
| 2.2.6 | Потенциометрические датчики .....                                           | 92  |
| 2.2.7 | Емкостные преобразователи .....                                             | 94  |
| 2.2.8 | Тахогенераторы .....                                                        | 96  |
| 2.3   | ЭЛЕКТРОННЫЕ КОММУТАТОРЫ .....                                               | 103 |
| 2.3.1 | Основные требования и состав .....                                          | 103 |
| 2.3.2 | Монорежимные транзисторные ЭК .....                                         | 104 |
| 2.3.3 | Монорежимные распределители на ИМС .....                                    | 109 |
| 2.3.4 | Многорежимные ЭК ШЭД .....                                                  | 111 |
| 2.3.5 | Полирежимные ЭК ШЭД и ВЭД .....                                             | 112 |
| 2.4   | УСИЛИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭМС .....                         | 120 |
| 2.4.1 | Исходные данные для проектирования усилителей ...                           | 120 |
| 2.4.2 | ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ .....                                           | 121 |
| 2.4.3 | Усилители постоянного тока .....                                            | 125 |
| 2.4.4 | Электромашинные усилители .....                                             | 127 |
| 2.4.5 | Тиристорные преобразователи .....                                           | 128 |
| 2.4.6 | Модуляторы .....                                                            | 132 |
| 2.4.7 | Демодуляторы .....                                                          | 135 |
| 2.5   | ТРЕНИРОВОЧНОЕ ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ 2 .....                                     | 137 |
| 3.    | СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ РЕАЛЬНЫХ ЭМС .....                       | 139 |
| 3.1   | ДИСКРЕТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....         | 139 |
| 3.2   | ЭМТП С ШАГОВЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ .....                                    | 145 |
| 3.2.1 | Базовые структуры .....                                                     | 145 |
| 3.2.2 | Разомкнутые преобразователи .....                                           | 149 |
| 3.2.3 | Преобразователи компенсационного типа .....                                 | 152 |
| 3.2.4 | Микропрограммное управление ШЭД .....                                       | 159 |
| 3.2.5 | ЭМТП с переменными алгоритмами коммутации .....                             | 163 |
| 3.3   | ЭМТП НА ОСНОВЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ .....                           | 170 |
| 3.3.1 | Особенности применения ВЭД .....                                            | 170 |

|       |                                         |     |
|-------|-----------------------------------------|-----|
| 3.3.2 | ЭМТП с импульсным ДПР.....              | 173 |
| 3.3.3 | ЭМТП с импульсно-потенциальным ДПР..... | 178 |
| 3.3.4 | ЦСП прямого преобразования .....        | 190 |
| 3.4   | ТРЕНИРОВОЧНОЕ ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ 3 ..... | 198 |
| 4.    | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                 | 200 |

БЛИНКОВ Юрий Вадимович

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие  
по специальности 210200  
"Автоматизация технологических  
процессов и производств"

Компьютерный набор автора.  
Компьютерная верстка Фатеева Д. Б., Недошивниной М.В..

Сдано в производство 20.11.00. Формат 60x84 1/16  
Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная.  
Усл. печ. л. 11,73. Уч.-изд. л. 12,0. Заказ N182. Тираж 181.

---

Издательство Пензенского технологического института.  
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова, 1а.  
Лицензия: Серия ЛР № 021094 от 07 февраля 1997 г.  
Internet: <http://pti.penza.ru>

# Основы автоматизированного электропривода

Электропривод служит одним из основных силовых исполнительных механизмов промышленного оборудования и бытовых приборов. Многообразие областей применения обусловило значительную номенклатуру производимых и используемых электроприводов. В классификацию электроприводов технического оборудования заложены различные признаки, такие как отрасль использования (технологические машины, подъемные механизмы, транспорт и т.п.); тип и направление движения (непрерывное вращательное или линейное, шаговое, с реверсированием и т.д.); применяемые электродвигатели (постоянного тока, асинхронный, синхронный, шаговый); вид управления (ручное, автоматизированное).

Теория и технические средства электропривода непрерывно совершенствуются в направлениях расширения выполняемых функций, повышения точности и увеличения скорости отработки задания; использования современных управляемых электродвигателей в совокупности с сокращением механических передач и улучшения их параметров; повышения эффективности управления посредством увеличения количества регулируемых параметров и применения цифрового управления на основе микроконтроллеров.

Наиболее полно приведенные аспекты совершенствования нашли отражение в *автоматизированном электроприводе (АЭП)*, представляющем собой электромеханическую систему, которая состоит из электродвигателя, механической передачи, силового преобразователя и электронного управления (рис. 22.11).

Функциональную схему электропривода, как правило, реализуют в форме агрегата с использованием типовых конструктивно завершенных функциональных модулей (блоков): исполнительного электродвигателя (ЭД) с механической передачей (ПМ), кинематически объединяющей его с рабочим органом (РО), который изменяет состояние объекта в соответствии с программным заданием (ИЗ). Режим работы электропривода контролируется с помощью совокупности датчиков тока  $D_t$ , напряжения  $D_v$ , темпера-

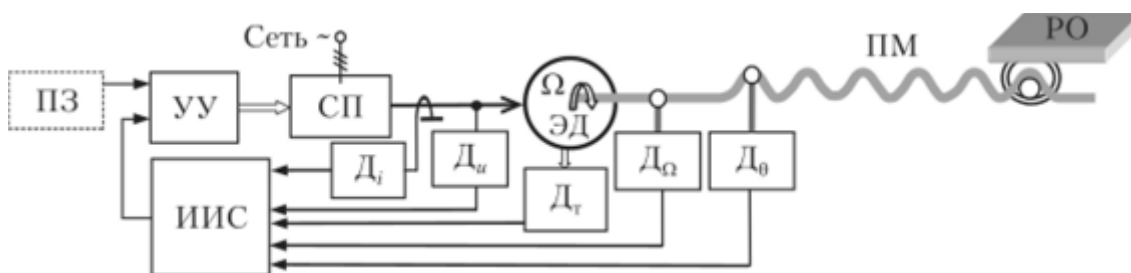


Рис. 22.11. Функциональная схема электропривода

(расшифровку обозначений см. в тексте) туры  $D_t$ , положения вала  $D_φ$ , скорости вращения  $D_Ω$  и др., сигналы которых обрабатываются информационно-измерительной системой (ИИС) и передаются в управляющее устройство (УУ), обеспечивающее функционирование электронного силового преобразователя (СП).

Таким образом, современный комплектный электропривод представляет собой достаточно сложную многоконтурную систему автоматического управления скоростью

вращения и положением вала электродвигателя. Состав элементов и структура электропривода определяются его назначением.

Во многих приложениях, требующих большого диапазона изменения скорости вращения вала, до настоящего времени используются электроприводы с двигателями постоянного тока (ДПТ). Для анализа процессов управления электроприводом при вариации механического момента сопротивления необходимо иметь математическое описание (модель) системы, которую обычно формируют на схемотехническом уровне.

Уравнение ДПТ с возбуждением от постоянного магнита, создающего поток  $\Phi$ , имеет вид  $u_a = R_a i_a + L_a di_a/dt + c_e \Phi \omega$ . При взаимодействии тока якоря с магнитным потоком создается момент  $M = c_m \Phi i_a$ , который входит в уравнения механической части  $J d^2 \theta / dt^2 + f d\theta / dt + Q = M - M_c$ . С использованием приведенных уравнений можно получить упрощенную структурную схему разомкнутого электропривода (рис. 22.12).

Процедуру преобразования входного электрического напряжения  $u_a$  в электромагнитный момент на валу  $M$  описывают коэффициент  $c_m$  и передаточная функция  $W_3 = k_a / (sT_a + 1)$ . Управляемый выпрямитель в первом приближении характеризуется линейным дифференциальным уравнением первого порядка, которое отображено инерционным звеном  $W_y = k / (sT_y + 1)$  с коэффициентом усиления  $k$  и постоянной времени  $T_y$ . Передаточная функция механической части имеет вид  $W_M = 1 / (s^2 J + s f + 1)$ , и связь механической и электрической подсистем осуществляется через выражение для противоЭДС  $e = c_e \omega$ .

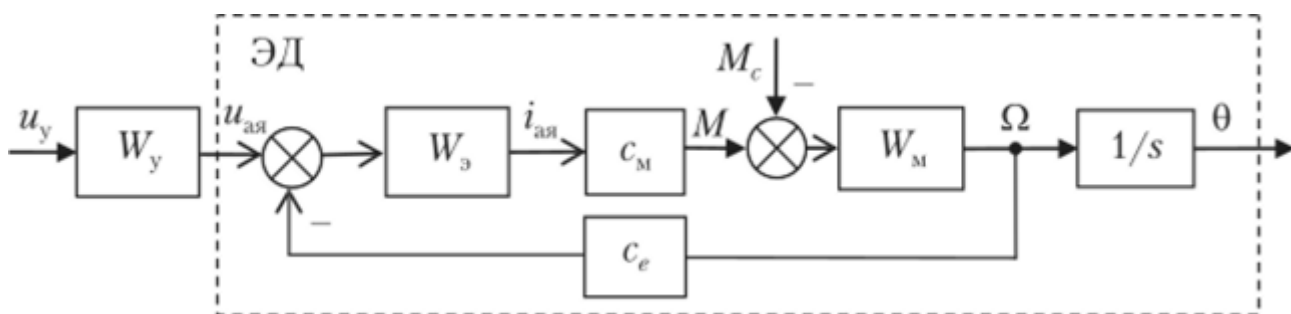


Рис. 22.12. Структурная схема разомкнутого электропривода постоянного тока

С целью улучшения статических и динамических характеристик электропривода в систему управления вводят контуры регулирования различных величин с использованием стабилизирующих свойств отрицательной обратной связи. Возможно множество вариантов создания замкнутых контуров регулирования, дающих различные эффекты. В системах следящего электропривода получила распространение система подчиненного регулирования (рис. 22.13).

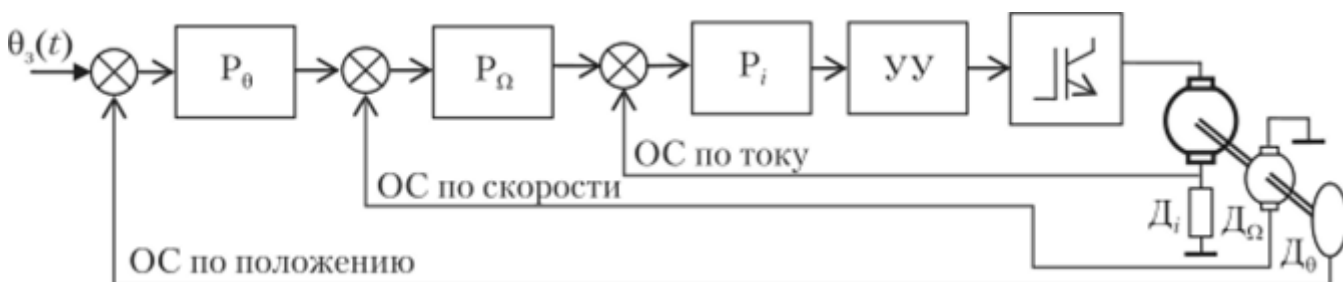


Рис. 22.13. Структурная схема электропривода с регуляторами тока, частоты вращения и угла поворота

Особенность структуры подчиненного регулирования заключается в применении индивидуальных регуляторов ( $P_o, P_n, P_s$ ) для выбранных величин: положения ротора  $\theta$ , частоты вращения  $\omega$  и тока якоря  $i_a$ ; сигналы о значениях которых формируются резистивным датчиком тока  $D_n$ , тахогенератором  $D_a$  и оптоэлектронным датчиком угла поворота  $D_o$ . Преимуществом приведенной системы по сравнению с совокупностью контуров независимого регулирования является простота анализа и настройки параметров системы управления.

Наличие у ДПТ механического щеточно-коллекторного узла, обладающего невысокой надежностью, стимулировало применение в электроприводе двигателей переменного тока.

Одним из самых надежных на сегодняшний день является асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором, имеющий при одинаковой мощности меньшие по сравнению с двигателями постоянного тока размеры, массу и стоимость. Асинхронные электродвигатели достаточно широко используются как исполнительные механизмы благодаря простоте конструкции, небольшим габаритам, высокой надежности и экономичности. Электродвигатели с короткозамкнутым ротором (типа беличьей клетки) обладают малым моментом инерции ротора, что дает возможность получить большие ускорения при сравнительно небольшом вращающем моменте.

Сложность управления скоростью вращения АД длительное время препятствовала его использованию в автоматизированном электроприводе. Теория частотного управления, основанная на принципе регулирования скорости вращения при неизменном моменте посредством одновременного изменения частоты и напряжения питания для обеспечения  $U/f = \text{const}$ , создана в середине XX в. Реализация таких методов управления стала возможной благодаря развитию средств силовой и информационной электроники, позволивших разработать и наладить промышленный выпуск полного набора функционально и конструктивно завершенных частотных преобразователей для асинхронных электродвигателей любых мощностей.

Для симметричной трехфазной системы напряжений можно записать уравнения равновесия напряжений для произвольной фазы

статора 
$$u_1 = r_1 i_1 + L_1 di_1/dt + L_{21} di_2/dt$$

и произвольной фазы ротора

$$0 = r_2 i_2 + S_k L_2 di_2/dt + S_k L_{12} di_1/dt.$$

Уравнение механической части имеет вид

$$J d^2 \Omega_2 / dt^2 + \beta d \Omega_2 / dt + \Omega_2 = M - M_c.$$

В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:  $U(t)$  — фазное напряжение;  $i_1$  и  $i_2$  — токи фазы обмоток статора и ротора;  $r_1, r_2, L_1, L_2$  — активные сопротивления и собственные индуктивности фаз обмоток статора и ротора;  $L_{21}$  — взаимная индуктивность обмотки ротора от основной гармоники поля статора,  $L_{12}$  — взаимная индуктивность обмотки статора от основной гармоники поля ротора;  $S_k = (f_1 - f_2) / Q$  — скольжение;  $\Omega_2, \dot{\Omega}_2$  — угловые скорости вращения ротора

двигателя и магнитного поля статора;  $J$ ,  $p$  — момент инерции и коэффициент вязкого трения ротора. Развиваемый момент можно вычислить из соотношения

$$M = m_2 i_2^2 r_2 p / (2\pi f_1 S_K),$$

где  $t_2$  — число фаз обмотки ротора;  $p$  — количество пар полюсов двигателя;  $f$  — синхронная частота напряжения питания.

При вращении ротора взаимное положение обмоток статора и ротора изменяется, что приводит к зависимости от времени индуктивностей, т.е. представленная система уравнений носит нестационарный характер, и это существенно затрудняет ее применение при анализе процессов в электроприводе. Для решения полученных уравнений используют эквивалентные преобразования, которые, во-первых, позволяют посредством выбора переменных освободиться от зависящих от времени коэффициентов и, во-вторых, снижают порядок совместно решаемых уравнений. Теоретически показано, что уравнения электрического двигателя с произвольным числом обмоток можно свести к уравнениям эквивалентного двухфазного двигателя, называемого «обобщенной машиной».

На основании теории обобщенной электрической машины в 1970-е гг. был разработан так называемый векторный метод управления электродвигателями переменного тока, заключающийся в использовании модели (наблюдателя), связывающей электромагнитный момент и другие переменные состояния с входными величинами, т.е. токами и напряжениями обмоток статора. Таким образом, была обоснована теоретическая возможность управления переменными состояниями электромеханического преобразователя посредством изменения входных величин, доступных для измерения, т.е. наблюдаемых. Структурной модификацией векторного метода является так называемое бездатчиковое управление, при котором об изменении переменных состояния электродвигателя судят по измеренным значениям входных электрических величин на входе модели. Очевидно, что при таком подходе возможно только использование частичных обратных связей и характеристики управления существенно зависят от полноты и точности модели (наблюдателя).

В инженерной практике широкое распространение получили модели электродвигателей, использующие различные электрические эквивалентные схемы обмоток или приближенные соотношения, полученные с помощью схемных моделей. Обычно используют приведенные к обмотке статора значения переменных и параметров обмотки ротора, причем принцип приведения основан на инвариантности потоков мощности. Приведенная обмотка ротора имеет число фаз, число витков и значение обмоточного коэффициента по основной гармонической поля, одинаковые с аналогичными параметрами обмотки статора (рис. 22.14).

Для общего моделирования асинхронного электропривода, описываемого разнородными физическими величинами, принципиально возможно использование аналогии уравнений, описывающих поведение неэлектрических величин и электрических схем. Приближенные расчетные соотношения для характеристик электродвигателя, построенные с использованием эквивалентных схем, получаются настолько громоздкими, что не позволяют провести аналитическое исследование влияния параметров на механические и регулировочные характеристики.



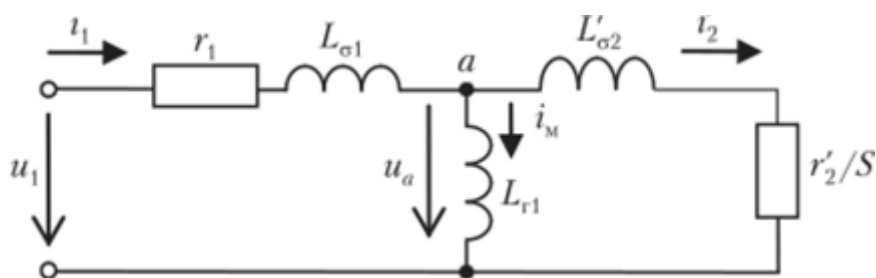


Рис. 22.14. Эквивалентная электрическая схема фазы электродвигателя

Принципы построения систем автоматизированного электропривода, а также их структурные схемы и конструктивное исполнение весьма многообразны и зависят от множества факторов. В ряде случаев целесообразным представляется применение линейного электродвигателя, осуществляющего поступательное перемещение движущейся части. Для получения линейного движения непосредственно с использованием электромеханического преобразования цилиндрическую статорную обмотку электродвигателя переменного тока как бы разрезают по радиальному сечению и разворачивают вдоль направления движения. При периодическом повторении развертки магнитное поле статора распространяется поступательно и увлекает за собой подвижную часть.

## Контрольные вопросы и задания

- 1. Поясните функциональное назначение преобразователей, образующих систему автоматического управления.
- 2. Каковы принцип действия и назначение конструктивных элементов электромагнитного реле?
- 3. На основе каких признаков классифицируют электрические двигатели?
- 4. Поясните назначение конструктивных элементов двигателей постоянного тока.
- 5. Какой преобразователь носит название бесконтактного двигателя постоянного тока и в чем состоят его основные особенности?
- 6. В чем различие синхронных и асинхронных двигателей переменного тока?
- 7. Приведите функциональное назначение модулей, образующих структуру автоматизированного электропривода.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**В.Н. Скороспешкин, М.В. Скороспешкин**

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

*Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2018

УДК 681.51 (075.8)  
ББК 32.965-016.5я73  
С44

**Скороспешкин В.Н., Скороспешкин М.В.**

С44 Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебно-методическое пособие / В.Н. Скороспешкин, М.В. Скороспешкин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 106 с.

В учебно-методическом пособии изложены требования к выполнению расчетно-пояснительной записки и приведены методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизированные информационно-управляющие системы». Рассмотрены состав и технические характеристики промышленных микропроцессорных контроллеров КРОСС-500 и ТРАССА-500. Описана методология разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами с использованием SCADA технологий, рассмотрены примеры решений для основных разделов курсового проекта.

Пособие подготовлено в ОАР ИШИТР ТПУ и предназначено для студентов, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

**УДК 681.51 (075.8)**

**ББК 32.965-016.5я73**

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор ТПУ

*В.Л. Ким*

Директор ООО «Сибпромкомплект»

*А.Ф. Андросов*

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2018

© Скороспешкин В.Н.,  
Скороспешкин М.В., 2018

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2018

## ГЛОССАРИЙ

| Термин                                                                                        | Определение                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Технологический процесс (ТП)                                                                  | Последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ, производства сырья, продукта, энергии и т.д.                                                                                                  |
| IEC 1131-3                                                                                    | Стандарт международной электротехнической комиссии определяющий языки программирования микропроцессорных контроллеров                                                                                                                           |
| Интерфейс (RS-485, RS-232, Ethernet)                                                          | Совокупность программно-аппаратных средств для обеспечения взаимодействия между микропроцессорными устройствами                                                                                                                                 |
| OPC-сервер (англ. Ole For Process Control)                                                    | Средство взаимодействия программного обеспечения автоматизированных систем управления с техническими средствами                                                                                                                                 |
| SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition-диспетчерское управление и сбор данных) | Под термином SCADA понимают инструментальную программу, предназначенную для разработки программного обеспечения операторских (диспетчерских) станций автоматизированных информационно-управляющих систем, работающих в режиме реального времени |
| ФЮРА. 425280                                                                                  | ФЮРА – это код организации разработчика проекта (ТПУ); 425280 – это код классификационной характеристики проектной продукции по ГОСТ 3.1201-85. Этот код означает проектирование распределенного автоматизированного управления                 |
| Функции АСУ ТП                                                                                | Это совокупность действий системы, направленных на достижение частных целей управления                                                                                                                                                          |
| ISaGRAF                                                                                       | Программный пакет, предназначенный для программирования промышленных контроллеров                                                                                                                                                               |

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

|                                     |                                                                 |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| FBD                                 | Язык функциональных блоков                                      |
| LD                                  | Язык релейной логики                                            |
| PLC (Programmable Logic Controller) | Программируемый логический контроллер                           |
| ST                                  | Язык структурированного текста                                  |
| АВК-6                               | Аналоговый вычислительный комплекс                              |
| АИУС                                | Автоматизированная информационно-управляющая система            |
| АРМ                                 | Автоматизированное рабочее место                                |
| АСУ ТП                              | Автоматизированная система управления технологическим процессом |
| БЦП                                 | Блок центрального процессора                                    |

|     |                                                      |
|-----|------------------------------------------------------|
| КП  | Курсовой проект                                      |
| МК1 | Полевой микропроцессорный контроллер                 |
| МВВ | Модули ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов |
| МВВ | Модули ввода-вывода                                  |
| ПО  | Программное обеспечение                              |
| ППО | Прикладное программное обеспечение                   |
| РПО | Резидентное программное обеспечение                  |
| ТД  | Текстовый документ                                   |
| ТПП | Технологическая программа пользователя               |
| ФБ  | Функциональный блок                                  |

## **ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ**

1. Программное обеспечение (ПО) автоматизированной системы контроля и регулирования расхода пара.
2. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования уровня нефти.
3. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования давления нефти.
4. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования температуры технической воды.
5. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования расхода сыпучего вещества.
6. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования давления масла магистрального насосного агрегата.
7. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования уровня сыпучего вещества.
8. ПО автоматизированной системы контроля и регулирования расхода технической воды.

### **Разделы курсового проекта, входящие в задание**

1. Описание промышленного микропроцессорного контроллера, определенного заданием на курсовое проектирование, и типовых структур систем автоматизации, выполненных на базе данного контроллера.
2. Описание состава и функциональных возможностей программного пакета ISaGRAF и языков программирования стандарта МЭК 1131-3.

3. Описание состава и функциональных возможностей SCADA-пакета, определенного заданием.
4. Описание параметров и процедуры настройки OPC – сервера используемого контроллера.
5. Выбор языка программирования и разработка программы для микропроцессорного контроллера, обеспечивающей выполнение функций, определенных заданием.
6. Разработка программы на базе SCADA-пакета для операторской станции, обеспечивающую визуализацию процесса контроля, регулирования и сигнализации. Минимальный состав выполняемых функций: цифровые значения регулируемого параметра, задания, ошибки регулирования, графики и тренд реального времени регулируемого параметра, задания и ошибки, изменение цвета выбранной формы при выходе параметра за установленные пределы, команды по изменению задания и параметров настройки регулятора. Информация должна быть представлена как минимум в виде двух мнемосхем с реализацией переходов между ними.
7. Настройка OPC-сервера и проверка работоспособности разработанных программ на учебном лабораторном стенде. При проверке работоспособности программ модель объекта управления набирается на аналогово-вычислительном комплексе АВК-6.

**Используемые промышленные микропроцессорные контроллеры:** КРОСС-500, ТРАССА-500.

**Используемые SCADA-пакеты: MasterScada, TRACE MODE.**

**Состав функций, выполняемых контроллером:** проверка достоверности введенной в контроллер информации, регулирование заданного параметра, сигнализация при выходе параметра за установленные верхний и нижний пределы, фильтрация входных сигналов, аналитическая градуировка датчиков. Сигнализация должна быть реализована путем вывода дискретных сигналов.

**Языки программирования контроллеров: FBD, ST, LD.**

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время трудно представить какой-либо технологический процесс без автоматической или автоматизированной системы управления, поскольку наличие данной системы управления обеспечивает качественный контроль и управление технологическим процессом, а также оптимизацию экономических затрат.

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами строятся на базе промышленных микропроцессорных контроллеров и компьютеров операторских станций

Разработка автоматизированной системы представляет собой достаточно сложную и трудоемкую работу, требующую высокую квалификацию специалистов, занимающихся проектированием и наладкой таких систем. При этом современный специалист должен иметь не только знания в области технического обеспечения АСУ, но и обладать навыками программирования промышленных микропроцессорных контроллеров и создания, с помощью различных SCADA-пакетов, программ визуализации хода технологического процесса, оперативного дистанционного управления, архивирования информации и подготовки рапортов и отчетов.

В ходе выполнения курсового проекта студент должен на базе знаний, полученных после изучения языков программирования микропроцессорных контроллеров и SCADA-пакетов, осуществить разработку программного обеспечения АСУ в соответствии с техническим заданием и проверить работоспособность программ. При этом студент должен опираться как на собственные знания, полученные в ходе изучения учебного курса «Автоматизированные информационно-управляющие системы», так и на литературные и интернет-источники.

Задача данного пособия – предоставить студентам методический материал по разработке программного обеспечения автоматизированных информационно-управляющих систем, построенных на базе отечественных микропроцессорных контроллеров (PLC) КРОСС-500 и ТРАССА-500 [1,2,3].

В этой связи данный курсовой проект предназначен для приобретения теоретических знаний в области автоматизированного управления, а именно в изучении промышленных микропроцессорных контроллеров КРОСС-500 и ТРАССА-500, программного пакета ISaGRAF [3,9], программных пакетов MasterScada [4,8] и TRACE MODE, предназначенных для оперативного управления и визуализации процесса контроля, регулирования и сигнализации. Наряду с этим, одной из важных целей данной работы является получение практических навыков составления программ контроля, регулирования и сигнализации, реализуемых промышленными микропроцессорными контроллерами, а также создания программ визуализации процесса контроля, регулирования и сигнализации в пакетах MasterScada и TRACE MODE.

# 1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО КУРСУ «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ»

## 1.1 Цель и задачи курсового проектирования

Учебным планом специальности 220201 «Управление и информатика в технических системах» предусмотрено курсовое проектирование по дисциплине «Автоматизированные информационно-управляющие системы». Основными целями курсового проектирования являются систематизация и углубление знаний в области разработки программного обеспечения АСУ, приобретение умений выполнения инженерных проектных задач в области автоматизации технологических процессов. Для достижения поставленной цели должны найти отражение следующие элементы обучения.

- *Умение* выполнять проектные работы по созданию программного обеспечения автоматизированных информационно-управляющих систем, выбирать необходимые алгоритмы обработки информации, разрабатывать программы контроля и визуализации состояния технологического процесса, регулирования, сигнализации, блокировки и защиты на языках программирования контроллеров в соответствии с международным стандартом IEC 1131-3 с применением SCADA.
- *Знание* типовых структур АСУ ТП, протоколов микропроцессорных средств автоматизации и интерфейсов передачи данных, а также OPC технологий обмена данными между контроллерами и SCADA.
- *Приобретение* компетенций:
  - применять современные программные средства для проектирования автоматизированных информационно-управляющих систем;
  - разрабатывать технические предложения, документацию и программы;
  - осуществлять практическую работу с промышленными микропроцессорными контроллерами в процессе проверки работоспособности созданного программного обеспечения.

**Задачей** курсового проектирования является разработка эскизного проекта программного обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы. В качестве информационно-управляющей системы выбрана АСУ ТП, имеющая два уровня. Нижний уровень построен на базе промышленных микропроцессорных контроллеров, а верхний (диспетчерский) уровень на базе компьютера и SCADA. Разрабатываемое программное обеспечение включает в себя программу для микропроцессорного контроллера и программу для операторской станции, составленную с применением SCADA.

Курсовой проект выполняется на основе индивидуального задания, которое выдается преподавателем. Курсовой проект должен включать в себя



пояснительную записку (ПЗ), графическую часть, оформленную в виде альбома схем, и результаты проектирования на электронном носителе. Пояснительная записка и графическая часть проекта выполняются в соответствии со стандартом ТПУ СТО ТПУ 2.5.01-2006 «Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления».

Отдельные части курсового проекта должны быть представлены в логической последовательности и взаимосвязи. Работа должна иметь иллюстрации рисунками, таблицами, графиками, схемами. В тексте должны присутствовать ссылки на иллюстрации, таблицы и литературу.

## 1.2 Структура расчетно-пояснительной записки

Объем пояснительной записки должен составлять 30÷40 страниц печатного текста. Она должна содержать краткое описание используемых технических средств автоматизации и используемых информационных технологий и программных продуктов, а также расчеты с необходимыми пояснениями.

Структурными элементами пояснительной записки являются:

- текстовый документ (ТД);
- графический материал.

Текстовый документ должен включать структурные элементы в указанной ниже последовательности:

- титульный лист;
- задание;
- реферат;
- содержание;
- глоссарий;
- обозначения и сокращения;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованных источников.

**Титульный лист.** Форма титульного листа приведена в приложении А.

**Задание.** Проект должен выполняться на основе индивидуального задания, которое содержит требуемые для решения поставленных задач исходные данные и соответствует ГОСТ 34.602–89 [11]. Задание оформляется по форме, приведенной в приложении Б.

**Реферат.** Должен быть представлен на отдельном листе. Рекомендуемый средний объем реферата 850 печатных знака. Объем реферата не должен превышать одной страницы.

Реферат должен содержать:

- сведения об объеме ТД, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве частей ТД, использованных источников, листов графического материала;

- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста ТД, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание и обеспечивают возможность информационного поиска.

Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые.

Текст реферата должен отражать оформленные в виде структурных частей:

- объект исследования или разработки;
- цель работы;
- метод или методологию проведения работы и применяемые технические средства;
- полученные результаты и их новизну;
- основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики;
- степень внедрения;
- рекомендации или итоги внедрения результатов работы;
- область применения;
- прогнозные предположения о развитии объекта исследования (разработки);

Если в пояснительной записке нет сведений по какой-либо из перечисленных структурных частей реферата, то в тексте реферата она опускается, при этом последовательность изложения сохраняется. Изложение материала в реферате должно быть кратким и точным и соответствовать положениям ГОСТ 7.9. Пример составления реферата приведен в СТ ТПУ 2.5.01-2006.

**Содержание.** Включает введение, заголовки всех разделов, подразделов, пунктов заключение, список использованных источников и наименования приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы.

Материалы, представляемые на технических носителях данных ЭВМ(CD), должны быть перечислены в содержании с указанием вида носителя, обозначения и наименования документов, имен и форматов соответствующих файлов, а также места расположения носителя в ПЗ.

**Обозначения и сокращения.** Если в пояснительной записке используется значительное количество (более пяти) обозначений и (или) сокращений, то оформляется структурный элемент “Обозначения и сокращения” содержащий перечень обозначений и сокращений, применяемых для данного проекта. Этот раздел должен следовать сразу за глоссарием. Запись обозначений и сокращений в этом элементе приводят в порядке их появления в тексте с необходимой расшифровкой и пояснениями. При этом:

- 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;

- условные обозначения приводят после термина, при этом, после условных обозначений величин приводят обозначения единиц величин, которые отделяют запятой.

В тексте документа допускается приводить без расшифровки общепринятые сокращения, установленные в национальных стандартах и правилами русской орфографии: ЭВМ, НИИ, АСУ, с. – страница, т. е. – то есть, т. д. — так далее; т. п. — тому подобное; и др. — и другие; в т. ч. — в том числе; пр. — прочие; т. к. — так как; с. — страница; г. — год; гг. — годы; мин. — минимальный; макс. — максимальный; шт. — штуки; св. — свыше; см. — смотри; включ. — включительно и др.

В тексте документа не допускается:

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами, а также в данном документе;

- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

В тексте следует избегать необоснованных (излишних) сокращений, которые могут затруднить пользование данным документом.

Сокращение русских слов и словосочетаний – по ГОСТ 7.12.

Перечень допускаемых сокращений, используемых в текстовой конструкторской документации, приведен в ГОСТ 2.316.

**Введение.** В элементе “Введение” указывают цель работы, область применения разрабатываемой проблемы, ее научное, техническое и практическое значение, экономическую целесообразность. Во введении следует:

- раскрыть актуальность вопросов темы;
- охарактеризовать проблему, к которой относится тема, изложить историю вопроса, дать оценку современного состояния теории и практики;
- привести характеристику отрасли промышленности, предприятия, технологического процесса, для которых разрабатывается проект;
- изложить задачи в области разработки проблемы, т. е. сформулировать задачи темы работы;
- перечислить методы и средства, с помощью которых будут решаться поставленные задачи;
- кратко изложить ожидаемые результаты, в том числе технико-экономическую целесообразность выполнения данной темы, либо экономическую эффективность;
- указать цель курсового проекта.

Рекомендуемый объем введения – 2–3 с.

**Основная часть.** Содержание основной части работы должно отвечать заданию. Наименования разделов основной части отражают выполнение задания. Содержание и объем основной части студент и руководитель формируют совместно и должно соответствовать уровню технического

предложения (эскизного проекта) в соответствии с ГОСТ 7.32. В основной части необходимо представить следующие разделы.

**Промышленный микропроцессорный контроллер.** В этом разделе необходимо дать описание назначения, состава, технических и функциональных характеристик необходимого промышленного микропроцессорного контроллера, определенного заданием на курсовое проектирование, и типовых структур систем автоматизации, выполненные на базе данного контроллера (объем раздела должен быть не более 8–10 с.)

**Программный пакет IsaGRAF и языки программирования стандарта МЭК 1131-3.** В этом разделе необходимо привести назначение и состав программного пакета IsaGRAF [9], перечислить и охарактеризовать языки программирования промышленных контроллеров, привести основные возможности пакета, последовательность составления, отладки и загрузки программы пользователя в контроллер (объем раздела должен быть не более 5–8 с.)

**SCADA-пакет.** В данном разделе необходимо дать пояснение понятию SCADA-пакета, привести назначение отдельных подсистем, перечислить функции, выполняемые этим инструментальным средством и указать наиболее популярные отечественные и зарубежные SCADA-пакета. А также привести описание применяемого SCADA-пакета, его особенности и порядок разработки программ с применением используемого программного пакета (объем раздела должен быть не более 5–8 с.).

**Параметры настройки OPC – сервера контроллера.** В данном разделе необходимо указать назначение OPC-сервера, способ настройки с описанием отдельных секций, а также привести рисунок, раскрывающий содержание файла CROSSOPC.INI(объем раздела должен быть не более 2–3 с.)

**Выбор языка программирования и разработка программы для микропроцессорного контроллера..** В данном разделе необходимо обосновать выбор языка программирования, привести последовательность составления программы с иллюстрациями объявленных переменных и содержания словаря, описанием используемых функций и функциональных блоков, привести листинг программы, указать опции компилятора, вид канала связи с контроллером и его параметры. А также привести рисунок с указанием окна программы контроллера, находящегося в состоянии «работа» (объем раздела должен быть не более 6–7 с.).

**Разработка программы на базе SCADA-пакета для операторской станции.** В данном разделе необходимо проиллюстрировать процесс разработки программы, привести рисунки, содержащие экранные формы отображения информации и управления, описать процедуры динамизации экранных форм. При использовании пакета MasterScada привести дерево системы после добавления OPC переменных и дерево объектов. В данном разделе также должна быть описана процедура создания тренда.

Минимальный состав выполняемых функций: цифровые значения регулируемого параметра, задания, ошибки регулирования, графики и тренд реального времени регулируемого параметра, задания и ошибки, изменение цвета выбранной формы при выходе параметра за установленные пределы, команды по изменению задания и параметров настройки регулятора. Информация должна быть представлена как минимум в виде двух мнемосхем с реализацией переходов между ними. (объем раздела должен быть не более 6–8 с.)

**Настройка OPC-сервера и проверка работоспособности разработанных программ.** В данном разделе необходимо привести параметры настройки OPC-сервера, структурную схему лабораторного стенда, используемого для проверки работоспособности программ и методику проверки работоспособности. Работоспособность должна быть проиллюстрирована экранными формами, содержащими графики, тренды, световые и цифровые индикаторы, органы управления (объем раздела должен быть не более 5–6 с.).

**Заключение** должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы, оценку полноты решения поставленных задач, рекомендации по конкретному использованию результатов работы, ее научную и практическую значимость, а также указать полученные в результате выполнения курсового проекта знания и умения.

**Список использованных источников.** В список включают все источники, на которые имеются ссылки в КП. Источники в списке располагают и нумеруют в порядке их упоминания в тексте КП арабскими цифрами без точки. Сведения об источниках приводят в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 и ГОСТ 7.82. Примеры библиографических описаний источников приведены в СТО ТПУ 2.5.01-2006.

**Альбом схем.** Он должен включать в себя следующий перечень графических документов:

1. Дерево экранных форм.
2. SCADA- формы экранов мониторинга и управления операторской станции.

Графический материал должен быть органически увязан с содержанием работы, в наглядной форме иллюстрировать основные положения анализа, проектирования и использования информационных технологий [12].

Презентация проекта. Для защиты пояснительная записка должна быть представлена в формате \*.pdf или .doc. Презентация КП должна быть подготовлена в виде слайдов формата MS Power Point, так как предусмотрена публичная защита проектных решений.

## **2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ КРОСС-500, ТРАССА-500**

### **2.1 Состав, структура и АСУ ТП**

АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) – комплекс программных и технических средств, предназначенный

для автоматизированного управления технологическим оборудованием предприятия. Основу АСУТП составляет программно-технический комплекс (ПТК), работающий в режиме реального времени выполняющий заданные функции АСУ ТП [6].

*Функции* АСУ ТП – это совокупность действий системы, направленных на достижение частных целей управления. Функции АСУ ТП можно подразделить на следующие.

- Управляющие функции. Результатами их выполнения являются выработка и реализация управляющих воздействий на управляемую систему.
- Информационные функции. Содержанием информационных функций является сбор, обработка и представление информации о состоянии системы оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки.
- Вспомогательные функции обеспечивают решение внутрисистемных задач.

Для выполнения функций АСУ ТП необходимо взаимодействие следующих ее составных частей:

- техническое обеспечение, которое включает вычислительные и управляющие устройства, средства получения информации (датчики), средства преобразования, хранения, отображения и регистрации информации, устройства передачи сигналов и исполнительные устройства;
- программное обеспечение, состоящее из совокупности программ, необходимых для реализации функций АСУ ТП и обеспечения заданного функционирования комплекса технических средств;
- информационное обеспечение включает информацию, характеризующую состояние автоматизированного технологического комплекса;
- организационное обеспечение представляет собой совокупность описаний функциональных, технических и организационных структур, а также инструкций для оперативного персонала;
- оперативный персонал – это операторы-технологи, осуществляющие контроль за работой АСУ ТП;
- эксплуатационный персонал – это персонал, обеспечивающий эксплуатацию системы.

АСУ ТП представляет собой иерархическую систему, в которой можно выделить четыре основных уровня. На рисунке 1 представлена структура АСУ ТП с указанием отдельных уровней.



Рисунок 1. Структура АСУ ТП

*Полевой уровень* составляют датчики и исполнительные механизмы, которые устанавливаются на технологических объектах. Их назначение заключается в измерении параметров процесса, преобразовании их в соответствующий вид для дальнейшей передачи на более высокий уровень, а также в приеме управляющих сигналов и в выполнении соответствующих управляющих действий.

*На нижнем уровне* располагаются промышленные микропроцессорные контроллеры. На данном уровне выполняются информационные и управляющие функции, основными из которых являются:

- сбор информации, поступающей с полевого уровня и ее первичная обработка;
- технологическая и аварийная сигнализация
- регулирование;
- программное управление;
- аварийная защита;
- передача информации на верхний уровень.

*Сетевой уровень* обеспечивает обмен информацией между нижним и верхним уровнями. На данном уровне используются коммуникационный сервер, преобразователи интерфейсов, коммутаторы и т.д.

*На верхнем уровне* АСУ ТП размещены мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и операторских станций и обеспечивающие анализ и хранение всей поступившей информации за любой заданный интервал времени, подготовку рапортов и отчетов о работе

технологического процесса, а также визуализацию информации и взаимодействие с оператором. Основой программного обеспечения высшего уровня являются SCADA-пакеты (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных) [4,8].

## **2.2 МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОНТРОЛЛЕР КРОСС-500**

### **2.2.1 Назначение и область применения контроллера**

Основное назначение контроллера – построение высокоэффективных (недорогих и надежных) систем автоматизации различных технологических объектов. Контроллер обеспечивает оптимальное соотношение производительность/стоимость одного управляющего или информационного канала, однородность аппаратуры автоматики на предприятии, уменьшает затраты на ЗИП, обучение персонала и т.п. [1,3,7,10].

Контроллер предназначен для общепромышленного применения в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности - энергетической, металлургической, химической, нефте- и газодобывающей, машиностроительной, сельскохозяйственной, пищевой и т.д. Контроллер может использоваться также в качестве автономного средства для управления объектами малой и средней сложности. Контроллер ориентирован на построение недорогих систем различной алгоритмической и информационной (число каналов) сложности:

- ✓ макро – система (до 1920 каналов);
- ✓ миди – система (64-128 каналов);
- ✓ мини – система (16-64 каналов).

Контроллер предназначен для решения следующих типовых задач автоматизации:

- сбор информации с датчиков различных типов и ее первичная обработка (фильтрация сигналов, линеаризация характеристик датчиков, проверка достоверности информации и т.д.);
- выдача управляющих воздействий на исполнительные органы различных типов;
- регулирование прямых и косвенных параметров по различным законам;
- логическое, программно-логическое управление технологическими агрегатами, автоматический пуск и останов технологического оборудования;
- математическая обработка информации по различным алгоритмам;
- регистрация и архивация технологических параметров;
- обмен данными с другими контроллерами в рамках контроллерной управляющей сети реального времени;
- аварийная, предупредительная и рабочая сигнализация, индикация значений прямых и косвенных параметров;
- обслуживание устройств верхнего уровня, прием и исполнение их команд;
- выдача значений параметров и различных сообщений на панель оператора;
- обслуживание технического персонала при наладке, программировании, ремонте, проверке технического состояния контроллера;



- самоконтроль и диагностика всех устройств контроллера в непрерывном и периодическом режимах, вывод информации о техническом состоянии контроллера обслуживающему персоналу [1].

### 2.2.2 Состав контроллера

Контроллер является проектно-компонуемым изделием, состав которого определяет пользователь в зависимости от решаемых задач. Компоновка контроллера осуществляется блоками, модулями и другими изделиями, входящими в его состав.

В состав контроллера входят следующие устройства:

- ✓ блок центрального процессора БЦП (предназначен для организации и управления вычислительными процессами в реальном времени; исполнения технологической программы пользователя (ТПП); организация пользовательского интерфейса через панель технолога-оператора; обмена по протоколам TCP/IP и MODBUS с другими контроллерами и верхним уровнем и т.п.);
- ✓ модули ввода – вывода (МВВ) постоянного состава (дискретные модули (DI1-16, DIO1-8/8, DO1-16), аналоговые модули (TC1-7, TR1-8, AI1-8, AIO1-8/0, AIO1-8/4, AIO1-0/4) );
- ✓ модули ввода – вывода проектно-компонуемого состава (ADIO1, AIO2);
- ✓ микроконтроллер программируемый МК1 (выполняет все функции МВВ, а также различные дополнительные функции управления: исполнение ТПП, обмен с МВВ и верхним уровнем);
- ✓ терминальные блоки (для ввода сигналов объекта управления);
- ✓ соединения гибкие (для соединения ТБ и МВВ);
- ✓ блок и модули питания;
- ✓ блок переключения БПР-10 (для контактного переключения до 8 аналоговых или дискретных сигналов и может применяться в схемах резервирования);
- ✓ пульт настройки РН1(для наладки, настройки и конфигурирования модулей, а также для контроля и изменения параметров ТПП блока центрального процессора БЦП и микроконтроллеров в автономном режиме);
- ✓ панель оператора.

Внешний вид данных устройств контроллера Кросс -500 приведен на рисунке 2

[1].



Рисунок 2. Внешний вид локальных модулей контроллера КРОСС -500

### 2.2.3 Основные технические характеристики контроллера

Основные технические характеристики представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1. Основные технические характеристики контроллера КРОСС-500

| <b>ВХОДНЫЕ/ВЫХОДНЫЕ СИГНАЛЫ</b>                                                                                                                                             |                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Максимальное число аналоговых входов-выходов                                                                                                                                | 384                                                                                                                                     |
| Максимальное число дискретных входов-выходов                                                                                                                                | 512                                                                                                                                     |
| <b>ВХОДНЫЕ АНАЛОГОВЫЕ СИГНАЛЫ</b>                                                                                                                                           |                                                                                                                                         |
| Число входов на модуль постоянного состава                                                                                                                                  | 8                                                                                                                                       |
| Число входов на модуль проектно-компоуемого состава                                                                                                                         | до 20                                                                                                                                   |
| Число ячеек в модуле проектно-компоуемого состава                                                                                                                           | до 8                                                                                                                                    |
| Число входов в ячейке                                                                                                                                                       | 1, 2, 4                                                                                                                                 |
| Виды сигналов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• унифицированные</li> <li>• сигналы от термопар</li> <li>• сигналы от термопреобразователей сопротивления</li> </ul> | (0-5), (0-20), $\pm$ (0-5), $\pm$ (0-20) мА,<br>(0-10), $\pm$ (0-10) В<br>$\pm$ (0-35), $\pm$ (0-70) мВ<br>(0-100), (0-200), (0-400) Ом |
| Погрешности:                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• предел допускаемой основной приведенной погрешности</li> <li>• предел допускаемой дополнительной приведенной погрешности при изменении температуры на 10 °С</li> <li>• предел допускаемой абсолютной погрешности для термопар</li> <li>• предел допускаемой абсолютной погрешности для термопреобразователей сопротивления</li> <li>• предел допускаемой абсолютной погрешности канала компенсации температуры холодного спая</li> </ul> | <p>± 0.1%, ± 0.2% в зависимости от типа модуля</p> <p>± 0.1%, ± 0.2% в зависимости о типа модуля</p> <p>от ± 0.5<sup>0</sup>С до ± 3.0<sup>0</sup>С в зависимости от диапазона измерения</p> <p>от ± 0.3<sup>0</sup>С до ± 1.2<sup>0</sup>С в зависимости от диапазона измерения</p> <p>± 0.5%, ± 0.6% в зависимости от типа модуля</p> |
| Гальваническое разделение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | вид разделения (индивидуальное или групповое) зависит от типа модуля, испытательное напряжение 500В                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>ВЫХОДНЫЕ АНАЛОГОВЫЕ СИГНАЛЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Число выходов на модуль постоянного состава                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Число выходов на модуль проектно-компоуемого состава                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | до 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Число выходов в ячейке                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1, 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Шаг изменения числа выходов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1, 2, 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Виды сигналов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• унифицированные</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | (0-5), (0-20), (4-20) мА                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Погрешности: <ul style="list-style-type: none"> <li>• предел допускаемой основной приведенной погрешности</li> <li>• предел допускаемой дополнительной приведенной погрешности при изменении температуры на 10 °С</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>± 0.1%, ± 0.2% в зависимости от типа модуля</p> <p>± 0.1%</p>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Гальваническое разделение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | вид разделения (индивидуальное или групповое) зависит от типа модуля, испытательное напряжение 500В                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>ВХОДНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИГНАЛЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Число входов на модуль                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8, 16 (группами по 8 входов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Шаг изменения числа входов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Виды сигналов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• сигнал логического «0»</li> <li>• сигнал логической «1»</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>(0-7) В</p> <p>(24±6) В</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Максимальный ток                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,01 А – на один канал по цепи 24 В                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Гальваническое разделение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Между группами входов, испытательное напряжение 500В                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>ВЫХОДНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИГНАЛЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Число выходов на модуль                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8, 16 (группами по 8 входов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Шаг изменения числа выходов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Напряжение коммутации транзисторного                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | до 40 В                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                        |                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| выхода                                                                                 |                                                                                                                                                            |
| Ток коммутации                                                                         | до 0,3 А на один канал, но не более 2 А – на 8 каналов одной группы                                                                                        |
| Гальваническое разделение                                                              | Между группами входов, испытательное напряжение 500В                                                                                                       |
| <b>ВХОДНЫЕ-ВЫХОДНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИГНАЛЫ<br/>ТЕРМИНАЛЬНЫХ БЛОКОВ</b>                     |                                                                                                                                                            |
| Номинальное напряжение включения (коммутации)                                          | 24В, 110В, 220В                                                                                                                                            |
| Гальваническое разделение                                                              | Имеется, испытательное напряжение 500 или 1500 В в зависимости от вида блока                                                                               |
| <b>ОБЩИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ</b>                                                  |                                                                                                                                                            |
| Операционная система реального времени (ОС РВ)                                         | RTOS-32                                                                                                                                                    |
| Исполнительная система                                                                 | ISaGRAF Target                                                                                                                                             |
| Технологическое программирование (система ISaGRAF) на языках:                          | -последовательных функциональных схем SFC;<br>- релейной логики LD;<br>- структурированного текста ST;<br>- функциональных блоков FBD;<br>- инструкций IL; |
| Объем памяти процессора :<br>• flash-память<br>• динамическое ОЗУ<br>• статическое ОЗУ | • 1 Мбайт<br>• 4 Мбайт<br>• 256 кбайт                                                                                                                      |
| Общая емкость памяти программ пользователя (оценочно)                                  | до 10 инструкций входного языка ST<br>ISaGRAF                                                                                                              |
| Часы реального времени                                                                 | Формат: секунды - минуты - часы - года                                                                                                                     |
| Минимальное время цикла (шаг его изменения)                                            | 2мс (1мс)                                                                                                                                                  |
| Время сохранения технологических программ                                              | Без ограничения времени                                                                                                                                    |

Контроллер соответствует климатическому исполнению УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69. Контроллер является изделием общего назначения по ГОСТ 18311, место установки контроллера - взрывопожаробезопасное помещение. Средний срок службы контроллера не менее 10 лет.

## 2.2.4 Программирование контроллера

Контроллеры КРОСС-500, ТРАССА-500 являются семейством программно- и системно-совместимых приборов, обеспечивающих:

- ✓ переносимость технологических программ между контроллерами семейства;
- ✓ возможность работы в одной контроллерной сети и взаимодействия по единым сетевым протоколам;
- ✓ связь с верхним уровнем с помощью единого OPC – сервера.

Эти возможности обеспечиваются использованием в контроллерах семейства популярной системы программирования ISaGRAF, соответствующей международному стандарту открытых систем IEC (МЭК) 1131-3, что обеспечивает совместимость контроллеров семейства с контроллерами других фирм, использующих ISaGRAF [3,9].

ISaGRAF представлен в виде двух частей: набора средств разработки ISaGRAF Workbench и исполняемого на контроллере ядра-интерпретатора ISaGRAF Target. Набор средств разработки выполняется на компьютере проектировщика, например, компьютере типа IBM PC, и состоит из редактора, отладчика и препроцессора, который подготавливает описанный проектировщиком алгоритм к формату, «понятному» ядру-интерпретатору. Этот набор имеет современный пользовательский интерфейс, позволяет тестировать алгоритм в режиме эмуляции и получать листинг алгоритма на языках его описания. Ядро-интерпретатор ISaGRAF Target размещается в контроллере в качестве его резидентного программного обеспечения.

После создания пользовательская программа загружается в контроллер для исполнения. Ядро-интерпретатор, как следует уже из его названия, транслирует пользовательский алгоритм во время исполнения. Это позволяет сконцентрировать машино-зависимый код и таким образом снизить накладные расходы при переходе на другой контроллер.

В целом, программное обеспечение(ПО) контроллера – это совокупность резидентного программного обеспечения (РПО), встроенного в контроллер, и внешних программных средств (ПО операторской станции).

Резидентное программное обеспечение состоит из РПО нескольких блоков.

Резидентное программное обеспечение БЦП включает в свой состав:

- ✓ операционную систему RTOS-32;
- ✓ исполнительную систему ISaGRAF Target;
- ✓ подсистему ввода-вывода для связи с внешними модулями УСО;
- ✓ коммуникационные серверы (ModBus, Telnet, FTP и т.п.), осуществляющие связь с верхним уровнем, другими контроллерами, панелью оператора и др. устройствами.

1. Резидентное программное обеспечение модулей ввода-вывода включает в себя:

- ✓ операционную систему реального времени;
- ✓ драйверы ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов;

- ✓ программы первичной обработки сигналов;
  - ✓ драйверы интерфейсных каналов;
  - ✓ программы контроля и диагностики аппаратуры модуля.
2. Резидентное программное обеспечение МК1 включает в себя:
- ✓ операционную систему реального времени;
  - ✓ драйверы ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов;
  - ✓ программы первичной обработки сигналов;
  - ✓ систему выполнения ТПП, написанных на технологических языках FBD, ST, SFC программирования системы ISaGRAF;
  - ✓ драйверы интерфейсных каналов;
  - ✓ программы контроля и диагностики аппаратуры МК1.

Ядром РПО блока БЦП (как и МК1) является исполнительная система ISaGRAF Target версии 3.3. Данная система способна исполнять код программ, созданных при помощи ISaGRAF Workbench версий 3.xx, и написанных на любых из технологических языков в соответствии со стандартом МЭК 61131-3. В качестве языков программирования МК1 используются технологические языки FBD, ST, SFC системы разработки ISaGRAF Workbench, расширенной новыми алгоритмами, в том числе из библиотеки контроллера Р-130.

Внешние (нерезидентные) программные средства контроллера, исполняемые на РС-совместимом компьютере под операционной системой Windows NT, 2000, ХТ имеют следующий состав:

- ✓ систему разработки технологических программ пользователя (ТПП) ISaGRAF Workbench;
- ✓ программный пакет «Конфигуратор» для контроля и настройки модулей контроллера;
- ✓ программные средства связи с верхним уровнем, включающие OPC сервер, библиотеки подпрограмм связи верхнего уровня с БЦП, МВВ и МК1 [3].

### **2.2.5 Типовые структуры АСУ ТП**

Как отмечалось ранее, контроллер является проектно-компонуемым устройством. Поэтому он не имеет базового состава и может функционировать в рамках как процессорных, так и микроконтроллерных структур.

#### **Процессорная структура**

В типовом случае контроллер имеет процессорную структуру, т.е. в качестве блока, исполняющего основной алгоритм и управляющего всеми остальными компонентами системы, используется блок БЦП.

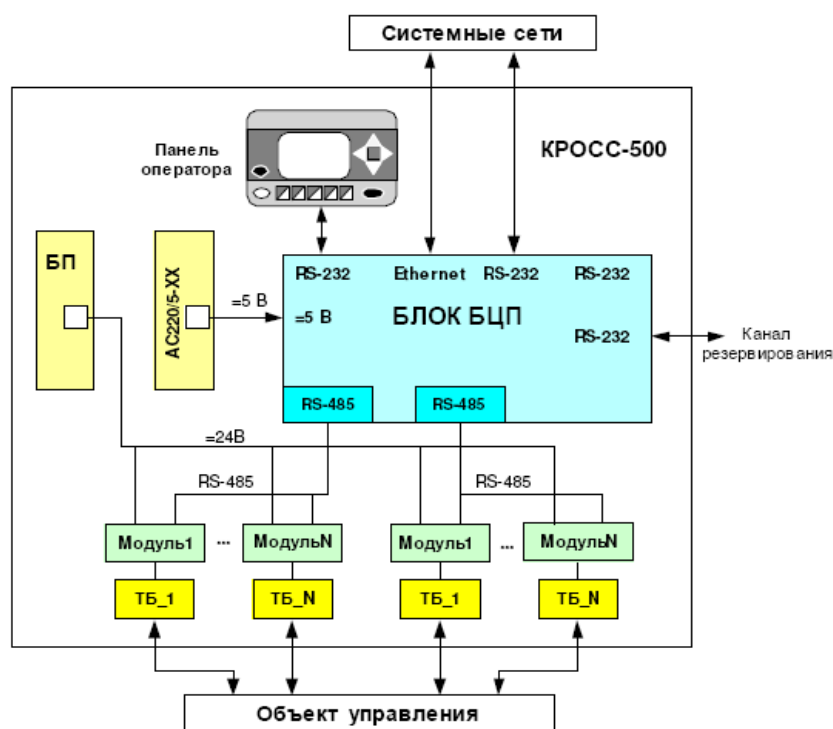
При этом в составе контроллера могут быть полевые микропроцессорные контроллеры МК1, параллельно исполняющие ТПП со своими локальными задачами и обменивающиеся данными с БЦП. Это позволяет повысить динамику и надежность системы, а также сократить информационный обмен между БЦП и МК1.

МК1, в свою очередь, также может иметь собственные модули ввода-вывода. Процессорная структура контроллера, включающая две полевые сети на основе шины RS-485, приведена на рисунке 3.

Применение резервирования повышает надежность систем автоматизации на базе контроллеров. Различные варианты резервирования аппаратных средств, наличие нескольких видов сетевых каналов дают возможность реализовать различные конфигурации контроллеров.

В контроллере КРОСС-500 предусмотрено резервирование БЦП, контроллеров, аппаратуры ввода-вывода, полевых сетей. Резервирование может быть реализовано либо встроенными системными средствами контроллера, либо проектными средствами.

Встроенные программно-аппаратные средства контроллера не требуют дополнительных мероприятий при подготовке контроллера к работе, кроме реализации схемы подключения. Проектные средства требуют управления процедурами резервирования со стороны технологической программы пользователя.



RS-485-внутренняя полевая шина контроллера;

Модуль-модули МВВ или МК1;

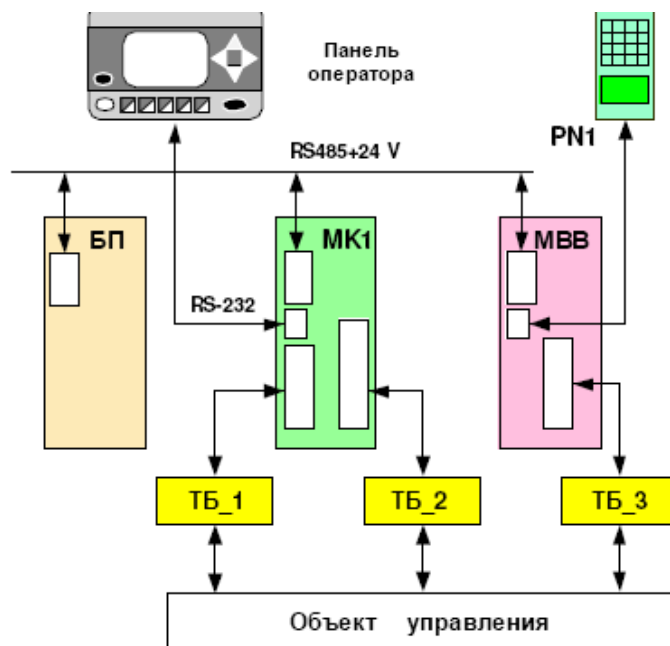
АС220/5-XX – модуль питания;

ТБ – терминальный блок

Рисунок 3. Процессорная структура контроллера АСУ ТП

### Микроконтроллерная структура

Для локальных или небольших распределенных систем контроллер может не иметь в составе блока БЦП. В этом случае основную технологическую программу пользователя исполняет МК1, используя подключенные к нему МВВ. Микроконтроллерная структура приведена на рисунке 4. При необходимости, МК1 могут объединяться в сеть по интерфейсу RS-485 [1].



RS485 – внутренняя полевая шина контроллера;  
 RS232 - связь с панелью оператора;  
 БП – блок питания;  
 МВВ – модули ввода-вывода (до 4 шт.);  
 ТБ – терминальные блоки;  
 PN1–пульт настройки.

Рисунок 4. Микроконтроллерная структура контроллера АСУ ТП

## 2.3 МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ТРАССА-500

### 2.3.1 Назначение и область применения контроллера

Основное назначение контроллера – построение эффективных систем автоматизации территориально рассредоточенных, протяженных или небольших объектов. Контроллер предназначен для решения задач автоматизации: сбор информации с датчиков различных типов и ее первичная обработка (фильтрация сигналов); выдача управляющих воздействий на исполнительные органы различных типов; регулирование прямых и косвенных параметров по различным законам; логическое, программно-логическое управление технологическими агрегатами, автоматический пуск и остановка технологического оборудования; математическая обработка информации по различным алгоритмам; регистрация и архивация технологических параметров; обмен данными с другими контроллерами в рамках контроллерной управляющей сети реального времени; аварийная, предупредительная и рабочая сигнализация, индикация значений прямых и косвенных параметров.

Управление объектом осуществляется с помощью ТПП, созданной пользователем на технологических языках программирования системы ISaGRAF.

Контроллер является проектно-компануемым и программируемым изделием. Его состав и ряд параметров определяются потребителем и



указываются в заказе. Контроллер имеет сертификат типа средства измерений и может выполнять учет материальных и энергетических потоков на различных участках производства.

Основные области применения контроллера – системы автоматизации технологических объектов широкого класса в различных отраслях энергетики, машиностроения, металлургической, химической, горнодобывающей промышленности и связи, в том числе теплоснабжение, водоснабжение, нефте- и газоснабжение, предприятие агропромышленного комплекса.

Контроллер ориентирован на построение недорогих систем различной алгоритмической и информационной сложности: макросистем (до 3840 каналов); миди-систем (64-128 каналов); мини-систем (16-64 каналов).

### **2.3.2 Состав, основные возможности и технические характеристики контроллера**

Контроллер ТРАССА является проектно-компонруемым изделием, состав которого определяет пользователь в зависимости от решаемых задач. Компоновка контроллера осуществляется блоками, модулями и другими изделиями, входящими в его состав.

В состав контроллера входят следующие программные и аппаратные средства:

1. Центральный процессор БЦП
2. Модули ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов МВВ:
  - проектно-компонруемый модуль ввода-вывода дискретных сигналов Т-DIO;
  - проектно-компонруемый модуль ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов повышенного быстродействия Т-ADIO.
3. Программируемый микроконтроллер Т-МК1
4. Сетевой шлюз (СШ)
5. Модуль преобразования интерфейсов МПИ\*
6. Модули питания:
  - модуль DC-24/5;
  - модуль AC220/5-15;
  - модуль DRA-60-24.
7. Блок переключения резерва БПР-10
8. Портативный пульт настройки (ПН).

Программное обеспечение контроллера позволяет пользователю:

- выполнять широкий круг алгоритмических задач: вычисление алгебраических и тригонометрических функций, статических и динамических преобразований, регулирования, программно-логического управления, защиты, учета, регистрации и архивации данных и т.п.;

- обеспечить возможность контроля, управления и тестирования каналов ввода-вывода в автономном режиме и с помощью компьютера, при этом обеспечивается возможность переноса, тиражирования программ;
- достичь снижения затрат на разработку и отладку программ пользователя за счет удобства и простоты программирования, их переноса и документирования, независимости от способов построения и работы устройств ввода-вывода.

Поддержка промышленных сетей и возможность обмена данными в реальном масштабе времени, использование технологических, процедурных языков программирования (системы ISaGRAF) и операционной системы реального времени OS-9 позволяют:

- интегрировать контроллер в единую систему АСУ ТП, содержащую контроллеры различных производителей, выполненные в стандарте открытых систем;
- масштабировать системы;
- сопрягать контроллер с различными SCADA-системами через стандартные средства межзадачного обмена;
- использовать единую технологию программирования контроллеров различных фирм и переносить технологические программы пользователя;
- подключать контроллер к глобальной информационной сети Internet благодаря наличию встроенного Web-сервера.

В контроллере применена интеллектуальная подсистема ввода-вывода.

Все модули устройств связи с объектом (УСО) контроллера имеют встроенный бортовой микропроцессор, выполняющий независимо и асинхронно по отношению к центральному процессору различные функции по обработке сигналов и диагностике оборудования.

Такой подход позволяет:

- повысить надежность контроллера за счет сокращения объема аппаратуры модулей и непрерывной самодиагностики;
- повысить живучесть контроллера за счет децентрализации и автономного выполнения различных функций;
- увеличить производительности и уменьшить время цикла контроллера за счет сокращения нагрузки на центральный процессор по объему вычислений и интенсивности обменов данными с модулями УСО;
- расширить номенклатуру модулей (модули ввода-вывода, модули контроля и управления исполнительными органами, модули микроконтроллера);
- обеспечить простоту и переносимость технологических программ, снижение затрат на их разработку и отладку за счет их независимости от способов построения и работы аппаратуры ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, датчиков и исполнительных органов;
- предусмотреть возможность контроля, управления и тестирования модуля в автономном режиме с помощью переносного пульта настройки или компьютера через последовательный порт модуля с интерфейсом RS-232.

## ***Основные технические характеристики***

### **Центральный процессор**

Центральный процессор БЦП контроллера построен на базе PC-совместимого модуля Wafer 4821 и содержит микропроцессор i486DX4-100 с встроенным сопроцессором, флэш-память, оперативную энергонезависимую и динамическую память, сторожевой таймер, таймер-календарь, каналы связи с УСО и внешними устройствами

### **Входы-выходы контроллера**

Контроллер обеспечивает ввод-вывод сигналов следующих типов:

- входные аналоговые сигналы;
- выходные аналоговые сигналы;
- входные дискретные сигналы;
- выходные дискретные/импульсные сигналы.

Максимальное число аналоговых/дискретных входов-выходов контроллера-7648.

Каналы ввода-вывода размещаются в модулях с проектно-компонованным составом и микроконтроллерах. Электрические, точностные и динамические характеристики, а также тип гальванической развязки входных и выходных сигналов определяются типом модуля или канальной ячейки.

Контроллер обеспечивает ввод-вывод аналоговых и дискретных сигналов со следующими характеристиками.

#### **1. Входные аналоговые сигналы:**

- унифицированные сигналы тока или напряжения 0-10 В, 0-5, 0-20, 4-20 мА (0-5 мА,  $R_{вх}=400$  Ом; 0-20 мА,  $R_{вх}=100$  Ом; 4-20 мА,  $R_{вх}=100$  Ом; 0-10 В,  $R_{вх}=27$  кОм);
- сигналы термопар типа сигналов термопар ТВР(А-1, А-2, А-3),ТПР(В), ТПП(Р,С) ТХА(К), ТХК(Л,Т), ТНН(Н), ТМК(Т), ТЖК(Ј) ГОСТ Р 50342-92;
- трех- и четырехпроводные сигналы термометров сопротивлений ТСМ50, ТСМ100, ТСП50, ТСП100 ГОСТ 6651;
- частотные и число-импульсные сигналы 0-50 кГц.
- разрешающая способность АЦП — 12 или 15 разрядов;
- основная погрешность — 0.2 или 0,1 %;
- цикл обновления значения сигнала- 2 мкс, 60 мс, 120 мс на канал
- гальваническая развязка – индивидуальная для всех типов сигналов или групповая (4 канала в группе) для унифицированных сигналов тока или напряжения.

#### **2. Выходные аналоговые унифицированные сигналы тока 0-5, 0-20, 4-20 мА:**

- 0-5 мА, ( $R_{н}=2$  кОм);
- 0-20 мА, ( $R_{н}=0,5$  кОм);
- 4-20 мА, ( $R_{н}=0,5$  кОм);
- разрешающая способность ЦАП — (12 разрядов).
- основная погрешность — 0,2 %;
- время преобразования- 20 мкс;

- гальваническая развязка – индивидуальная или групповая (2 канала в группе).
3. Входные дискретные сигналы:
- 24V DC;
  - 24V AC;
  - 110V AC;
  - 220V AC.
5. Дискретные (импульсные) выходные сигналы:
- транзистор, 24V/0.3A DC;
  - симистор, 220V/1.0A AC;
  - реле, 12-220V/6A DC/AC;
  - твердотельное реле, исполнения 24V/1A, 110V/0.19A, 220V/0.14A DC/AC.
  - гальваническая развязка — индивидуальная или групповая (8 каналов в группе);
  - защита от короткого замыкания в цепи нагрузки — имеется.

### **Внешние интерфейсы**

Контроллер имеет следующие внешние интерфейсы:

1. Системный канал Ethernet 10 BaseT для подключения к верхнему уровню и обмена данными между контроллерами. Канал имеет следующие характеристики:
  - режимы работы канала-master/slave;
  - физический интерфейс-RJ45;
  - скорость передачи данных-10МБод;
  - линия связи-витая пара.
2. Системный канал с протоколами Modbus или альтернативными протоколами для подключения к верхнему уровню. Канал имеет следующие характеристики:
  - режимы работы канала- master/slave;
  - физический интерфейс-RS-485;
  - скорость передачи данных-стандартный ряд скоростей СОМ-порта;
  - линия связи-витая пара.
3. Канал для резервирования процессоров и контроллеров. Канал имеет следующие характеристики:
  - режимы работы канала- master/slave;
  - физический интерфейс-RS-232;
  - скорость передачи данных- до 1 МБод;
  - линия связи-девятипроводный кабель.
4. Канал для подключения инженерной станции. Канал имеет следующие характеристики:
  - режимы работы канала-slave;
  - физический интерфейс-RS-232;
  - скорость передачи данных-стандартный ряд скоростей СОМ-порта.
  - линия связи-трехпроводный кабель.

5. Канал для подключения пульта технолога-оператора. Канал имеет следующие характеристики:
  - режимы работы канала-master;
  - физический интерфейс-RS-232;
  - скорость передачи данных-стандартный ряд скоростей СОМ-порта.
  - линия связи-трехпроводный кабель.
6. Каналы для подключения полевых приборов.
  - число каналов-до четырех;
  - режимы работы канала-master;
  - физический интерфейс-RS-485;
  - линия связи-витая пара.

### 2.3.3 Модули контроллера

Микроконтроллер Т-МК1 предназначен для использования в процессорных и беспроцессорных структурах контроллеров. В последнем случае он может использоваться самостоятельно или совместно с модулями МВВ и служить приборной базой для замены существующих систем на базе релейной автоматики и аналоговых приборов АКЭСР.

Т-МК1 построен как проектно-компонованное по заказу потребителя изделие на базе подсистемы ввода-вывода модуля Т-АДИО и имеет до 32 каналов ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов.

В качестве языков программирования МК1 используются пять типов технологических языков системы разработки IsaGRAF Workbench в соответствии со стандартом МЭК 1131-3, расширенной новыми алгоритмами, в том числе из библиотеки контроллера Р-130. Программирование Т-МК1 осуществляется при помощи компьютера. В перспективе планируется возможность программирования Т-МК1 на фирменном языке FST («функционально-ориентированный структурированный текст») с помощью обычного текстового редактора. Особенности программирования Т-МК1 приведены в руководстве по программированию.

Микроконтроллер выполняет все перечисленные выше функции модулей ввода-вывода, а также различные дополнительные функции управления, заложенные в технологической программе пользователя, в том числе:

- нормализация сигналов;
- логические функции, в том числе релейная логика;
- функции автономной защиты по значениям дискретных и аналоговых входных сигналов;
- управление позиционерами;
- функции порогового элемента;
- функции двух- и трехпозиционного регулятора, ПИД-регулятора;
- управление движением и диагностика исполнительного механизма;

- другие алгебраические, логические и временные функции.

В качестве языков программирования Т-МК1 используются пять типов технологических языков системы разработки IsaGRAF Workbench в соответствии со стандартом МЭК 1131-3, расширенной новыми алгоритмами, в том числе из библиотеки контроллера Р-130. Программирование Т-МК1 осуществляется при помощи компьютера.

Блок Т-ADIO1, блок программируемого микроконтроллера Т-МК1 имеют проектно-компонованный состав, до 8 аналоговых, частотных и дискретных ячеек по заказу, параметры которых приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Аналоговые и частотные ячейки блоков Т-ADIO1, Т-МК1

| Ячейка | Вид и количество каналов в ячейке        | Входной/ выходной сигнал                                                                                                                                              | Входное сопротивление (сопротивление нагрузки) | Быстродействие, не более |
|--------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| AI1    | 1 канал ввода                            | Аналоговый сигнал:<br>- постоянный ток: (4-20) мА;<br>±(0-5), ±(0-20) мА;<br>- напряжение ± 10 В                                                                      | (100±3) Ом<br>(100±3) Ом<br>не менее 32 кОм    | 60 мс                    |
| AI2    | 1 канал ввода                            | Аналоговый сигнал:<br>- постоянный ток: (0-5) мА;<br>(0-20), (4-20) мА;<br>- напряжение (0-10) В                                                                      | (400±10) Ом<br>(100±3) Ом<br>не менее 32 кОм   | 2 мкс                    |
| AI3    | 4 канала ввода                           | Аналоговый сигнал:<br>- постоянный ток: (4-20) мА;<br>±(0-5), ±(0-20) мА                                                                                              | (100±3) Ом<br>(100±3) Ом                       | 120 мс                   |
| AO1    | 1 канал вывода                           | Аналоговый сигнал:<br>- постоянный ток: (0-5) мА<br>(0-20), (4-20) мА                                                                                                 | не более 4 кОм<br>не более 1 кОм               | 20 мкс                   |
| AO2    | 2 канала вывода                          |                                                                                                                                                                       |                                                |                          |
| FI1    | 2 канала ввода                           | Частотный сигнал (0-50) кГц; амплитуда 5, 12, 24 В                                                                                                                    | не менее кОм                                   | -                        |
| TC1    | 1 канал ввода                            | Напряжение постоянного тока:<br>±(0-35), ±(0-70), ±(0-140), ±(0-280),<br>±(0-560), ±(0-1120), ±(0-2240) мВ.<br>Напряжение постоянного тока ± (0-70) мВ<br>от термопар | не менее 100 кОм                               | 60 мс                    |
| TR1    | 1 канал ввода.<br>Ввод трехпроводный     | Сопротивление (0-50), (0-100), (0-200), (0-400) Ом.<br>Сопротивление (0-400) Ом от<br>термопреобразователей сопротивления.                                            | -                                              | 60 мс                    |
| TR2    | 1 канал ввода.<br>Ввод четырехпроводный  |                                                                                                                                                                       |                                                |                          |
| TR3    | 2 канала ввода.<br>Ввод четырехпроводный | Сопротивление (0-50), (0-100), (0-200), (0-400) Ом.<br>Сопротивление (0-400) Ом от термопреобразователей<br>сопротивления. Измерение разности температур.             | -                                              | 120 мс                   |

Таблица 3- Дискретные ячейки блоков Т-ADIO1, Т- МК1

| Ячейка | Вид и количество каналов в ячейке | Входной/ выходной сигнал                                                                           | Входное сопротивление, кОм, не менее | Гальваническое разделение, В, не менее |
|--------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| DI2    | 4 канала ввода                    | Дискретный сигнал: напряжение постоянного тока (0-7) В – логический «0», (24±6) В – логическая «1» | 2                                    | 500                                    |
| DO2    | 4 канала вывода                   | Дискретный сигнал: бесконтактный ключ, коммутируемое постоянное напряжение 24 В, ток до 2 А        |                                      | 500                                    |

Блок Т-DIO1 имеет проектно-компонованный состав, до 8 дискретных ячеек по заказу, параметры которых приведены в таблицах 4-6.

Таблица 4 - Дискретные ячейки входных сигналов блока Т-DIO1

| Параметр                                        | DI1  | DI3/220 | DI3/110 | DI3/24 |
|-------------------------------------------------|------|---------|---------|--------|
| Количество каналов в ячейке                     | 2    | 1       | 1       | 1      |
| Входной ток канала, мА                          | ≈7   | ≈5      | ≈5      | ≈5     |
| Максимальное напряжение включения, В, не более  | 30   | 250     | 180     | 30     |
| Минимальное напряжение включения, В, не менее   | 18   | 120     | 60      | 15     |
| Максимальное напряжение выключения, В, не более | 7    | 100     | 50      | 12     |
| Гальваническое разделение, В, не менее          | 1500 | 1500    | 1500    | 1500   |



Таблица 5 - Дискретная ячейка DO3 блока T-DIO1

| Параметр                                                                      | DO3                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Количество каналов в ячейке                                                   | 1                      |
| Коммутируемый ток реле, А: *                                                  |                        |
| - при напряжении ~250 В и активной нагрузке;                                  | 6                      |
| - при напряжении =30 В и активной нагрузке                                    | 6                      |
| Минимальное напряжение коммутации, В *                                        | 5                      |
| Минимальный ток коммутации, мА *                                              | 10                     |
| Число циклов коммутации при напряжении 30 В постоянного тока 6 А, не менее *  | 5 <sup>5</sup><br>5*10 |
| Число циклов коммутации при напряжении 250 В переменного тока 6 А, не менее * | 4 <sup>4</sup><br>3*10 |
| Число циклов механической коммутации (без нагрузки), не менее *               | 7 <sup>7</sup><br>3*10 |
| Гальваническое разделение, В, не менее                                        | 1500                   |
| * Технические данные реле                                                     |                        |

Таблица 6 - Дискретные ячейки выходных сигналов блока T-DIO1

| Параметр                                              | DO1      | DO4  | DO5/220 | DO5/110 | DO5/24 |
|-------------------------------------------------------|----------|------|---------|---------|--------|
| Количество каналов в ячейке                           | 2        | 1    | 1       | 1       | 1      |
| Номинальное напряжение коммутации, В                  | =(18-30) | ~220 | ~220    | ~110    | ~24    |
| Максимальное напряжение коммутации, В, не более       | =40      | ~250 | ~400    | ~250    | ~60    |
| Максимальный ток коммутации, А, не более (один канал) | 0,3      | 1    | 0,12    | 0,17    | 1      |
| Гальваническое разделение, В, не менее                | 1500     | 1500 | 1500    | 1500    | 1500   |

Пределы допускаемой основной погрешности ( $\gamma_0$ ) и дополнительной погрешности ( $\gamma_d$ ) контроллеров, вызванной изменением температуры в рабочем диапазоне от плюс 5 до плюс 50 °С, указаны в таблице 7.

Таблица 7-Пределы погрешности

| Ячейка<br>Т-ADIO1,<br>Т-МК1 | Сигналы *                                                                                                                                             |                                                           | Предел<br>допускаемой<br>основной<br>приведенной<br>погрешности<br>$\gamma_0$ , % | Пределы<br>допускаемой<br>дополнительной<br>погрешности при<br>изменении<br>температуры на<br>10 °С, % |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | на входе                                                                                                                                              | на выходе                                                 |                                                                                   |                                                                                                        |
| ТС1                         | Напряжение<br>постоянного тока:<br>$\pm(0-35)$ , $\pm(0-70)$ ,<br>$\pm(0-140)$ , $\pm(0-280)$ ,<br>$\pm(0-560)$ , $\pm(0-1120)$ ,<br>$\pm(0-2240)$ мВ | $(0-100,0)$ %;<br>15 бит                                  | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |
|                             | Напряжение<br>$\pm(0-70)$ мВ от термопар.                                                                                                             |                                                           |                                                                                   |                                                                                                        |
| TR1, TR2,<br>TR3            | Сопротивление<br>$(0-50)$ , $(0-100)$ , $(0-200)$ ,<br>$(0-400)$ Ом                                                                                   | $(0-100,0)$ %;<br>15 бит                                  | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |
|                             | Сопротивление<br>$(0-400)$ Ом от<br>термопреобразователей<br>сопротивления                                                                            |                                                           |                                                                                   |                                                                                                        |
| AI1                         | Напряжение<br>постоянного тока $\pm(0-10)$ В.<br>Постоянный ток<br>$\pm(0-5)$ , $\pm(0-20)$ мА,<br>$(4-20)$ мА                                        | $(0-100,0)$ %;<br>15 бит                                  | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |
| AI2                         | Напряжение<br>постоянного тока<br>$(0-10)$ В.<br>Постоянный ток<br>$(0-5)$ , $(0-20)$ , $(4-20)$ мА.                                                  | $(0-100,0)$ %;<br>12 бит                                  | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |
| AI3                         | Постоянный ток<br>$\pm(0-5)$ , $\pm(0-20)$ мА,<br>$(4-20)$ мА.                                                                                        | $(0-100,0)$ %;<br>15 бит                                  | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |
| FI1                         | Частота $(0-50)$ кГц;<br>амплитуда 5, 12, 24 В.                                                                                                       | $(0-100,0)$ %;<br>15 бит                                  | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |
| AO1, AO2                    | $(0-100,0)$ %;<br>12 бит                                                                                                                              | Постоянный<br>ток:<br>$(0-5)$ , $(0-20)$ , $(4-20)$<br>мА | $\pm 0,1$                                                                         | $\gamma_0$                                                                                             |

### **2.3.4 Надежность контроллера**

Контроллер ТРАССА-500 обеспечивает высокую надежность управления технологическим процессом благодаря принятым мерам обеспечения собственной высокой надежности и живучести.

Базовый уровень надежности обеспечивается следующими средствами:

- исполнение элементной базы ведущих зарубежных фирм;
- резкое снижение числа межблочных контактных соединений и длины линий связи за счет использования последовательных полевых шин (2-4 сигнальных провода);
- использование высоконадежного программного обеспечения, имеющего сотни тысяч инсталляций (исполнительная подсистема ISaGRAF, сетевое ПО, операционная система RTOS-32);
- непрерывная диагностика блоков, наличие сторожевых таймеров во всех блоках;
- защита дискретных выходов блоков от короткого замыкания;
- SMD-монтаж, автоматизированная сборка и контроль блоков.

Базовый уровень живучести обеспечивается следующими средствами:

- Возможность автономного дублирования на блоках контроля и управления особо ответственных функций центрального процессора (защиты, блокировки, регулирование и т.д.)
- Возможность «горячей» замены блоков.

### **2.3.6 Типовые структуры АСУ ТП, разработанной на базе контроллера ТРАССА-500**

Контроллер является проектно-компонуемым устройством. Поэтому он не имеет базового состава и может функционировать в рамках как процессорных, так и микроконтроллерных структур.

#### ***Процессорная структура***

В типовом случае контроллер имеет процессорную структуру (рисунок 5), то есть в качестве блока, исполняющего основной алгоритм и управляющего всеми остальными компонентами системы, используется блок БЦП. При этом в составе контроллера могут быть блоки Т-МК1, параллельно исполняющие ТПП со своими локальными задачами и обменивающиеся данными с БЦП. Блоки Т-МК1 могут иметь собственные блоки ввода-вывода.

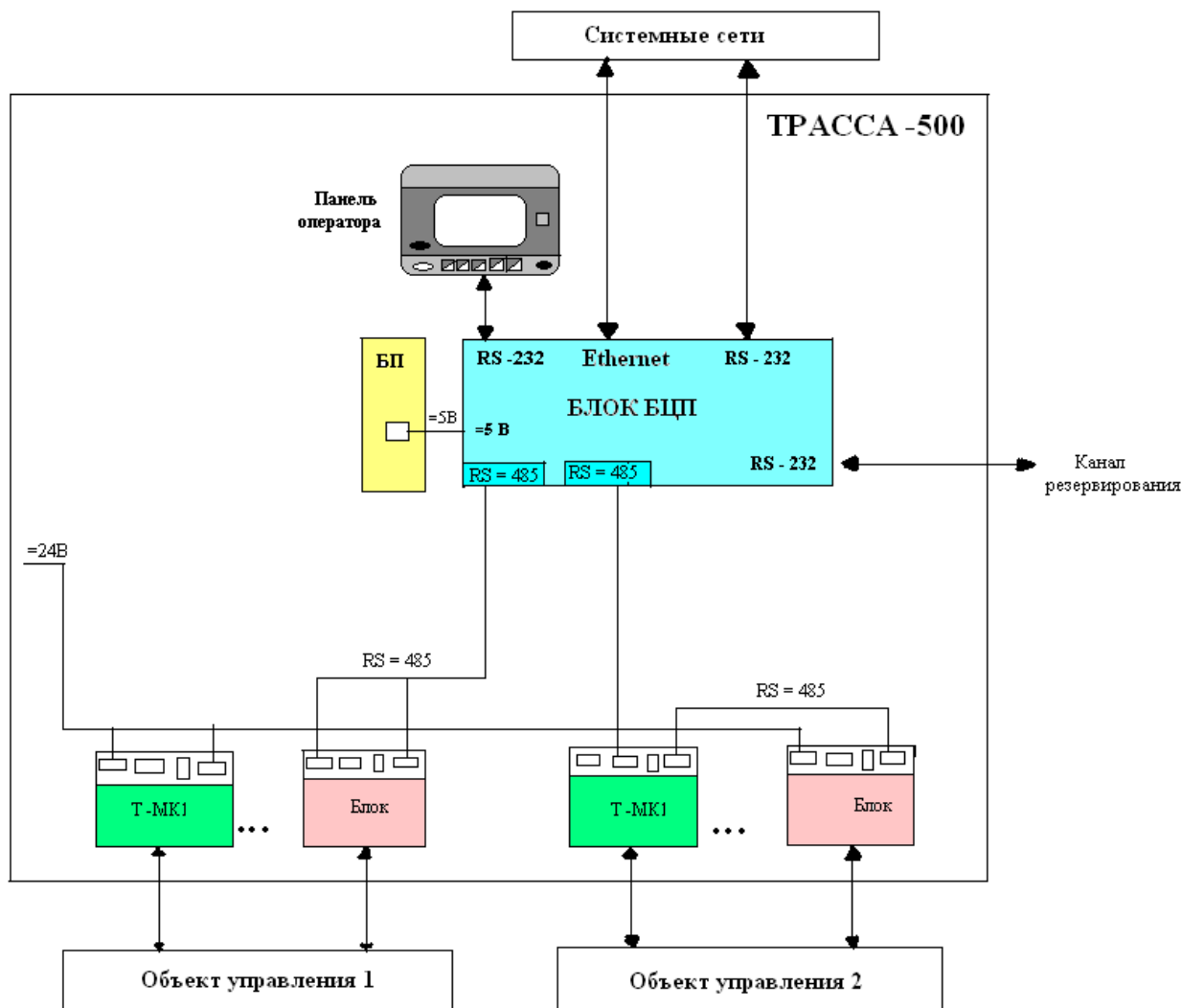


Рисунок 5. Процессорная структура контроллера АСУ ТП

- RS-485 - внутренняя полевая шина контроллера;
- Т-МК1 - микроконтроллер;
- БП – блок питания;
- Блок- блок ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов;
- RS-232 - связь с панелью оператора;
- БЦП – блок центрального процессора.

В качестве операторской станции используются SCADA- пакеты, которые выполняют функции сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами.

Блок центрального процессора БЦП управляет работой контроллера, имеет резидентное программное обеспечение (РПО), включающее операционную систему реального времени RTOS-32 и исполнительную систему ISaGRAF Target. Которые предназначены для загрузки и выполнения технологической программы пользователя (ТПП).

OPC сервер осуществляет соединение и обмен данными между ISaGRAF-приложением контроллера ТРАССА и SCADA-системами через Ethernet или последовательный порт (RS-232).

В качестве панели оператора использует персональный компьютер, который позволяет создать и запустить программу контроллера через RS 232.

Модули ввода-вывода (МВВ) или микроконтроллер в зависимости от вида сигналов подразделяются на 2 группы:

- модули ввода-вывода аналоговых сигналов с групповой или индивидуальной гальванической развязкой между каналами;
- модули ввода-вывода дискретных сигналов с групповой гальванической развязкой.

Аналоговые сигналы используются для представления непрерывно изменяющихся физических величин. Дискретный сигнал: информационный сигнал, который представляется в виде отдельных отсчетов взятых по времени. Используется для сигнализации состояния объекта.

Модули соединяются с БЦП через RS-485. RS-485 (внутренняя полевая шина контроллера) - стандарт передачи данных по двухпроводному полудуплексному многоточечному последовательному каналу связи.

Терминальные блоки предназначены для подсоединения внешних цепей Т-МК1 через клеммные колодки, а также для преобразования и гальванического разделения дискретных сигналов.

### ***Микроконтроллерная структура***

Для локальных или небольших распределенных систем контроллер может не иметь в составе блока БЦП. В этом случае основную ТПП исполняет блок Т-МК1, используя подключенные к нему блоки ввода – вывода через последовательный порт 1, который должен быть настроен как Modbus Master. Последовательные порты 1,2 могут быть настроены на связь со средствами верхнего уровня (БЦП, OPC сервер, панель оператора и тд.) Микроконтроллерная структура приведена на рисунке 6. При

необходимости, блоки Т-МК1 могут объединяться в микроконтроллерную сеть по интерфейсу RS-485.

МК1, в свою очередь, также может иметь собственные модули ввода-вывода. Процессорная структура контроллера, включающая две полевые сети на основе шины RS-485. Как для БЦП, программу для микропроцессора можно составить с помощью ISaGRAF.

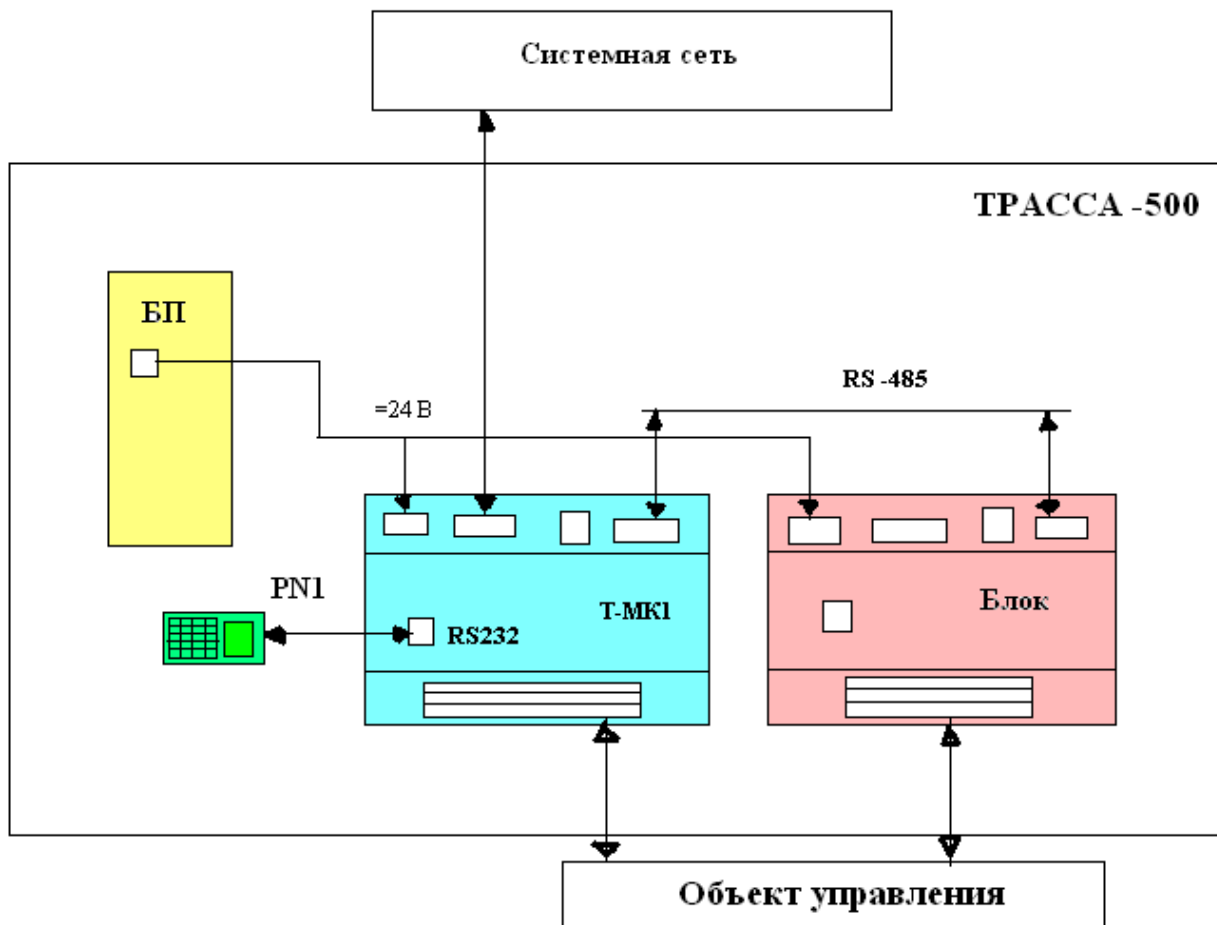


Рисунок 6. Микроконтроллерная структура АСУ ТП

- RS-485 - внутренняя полевая шина контроллера;
- RS-232 - связь с панелью оператора;
- PN1 – пульт настройки;
- БП - блок питания.

### **3 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ НА БАЗЕ ПАКЕТА ISAGRAF**

В данной курсовом проекте для создания технологической программы пользователя для контроллеров КРОСС-500 и ТРАССА-500 необходимо использовать пакет SaGRAF.

#### **3.1 Краткое описание программного пакета**

ISaGRAF – это технология программирования контроллеров, которая позволяет создавать локальные или распределенные АСУТП. Основа технологии - среда разработки приложений (ISaGRAF Workbench) и адаптируемая под различные аппаратно-программные платформы исполнительная система (ISaGRAF Target).

Инструментальная система разработки приложений обеспечивает проект всеми возможностями языков стандарта IEC 1131-3. Устойчивость к сбоям, способность обрабатывать большое количество точек ввода/вывода позволяют с успехом применять ISaGRAF как в небольших встраиваемых приложениях, так и в распределенных проектах автоматизации.

ISaGRAF предоставляет пользователю удобный графический интерфейс для разработки и отладки приложений. Сгруппировав основные возможности описываемой интегрированной системы, то их можно представить в следующем виде:

- ✓ поддержка всех пяти языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- ✓ возможность смешивания программ/процедур, написанных на разных языках, а также вставка кодовых последовательностей из одного языка в код, написанных в другом языке;
- ✓ мощный отладчик, позволяющий во время работы прикладной задачи просматривать состояние переменных, код программ и многое другое;
- ✓ поддержка основных функции протокола MODBUS (RTU, SLAVE);
- ✓ открытость системы для доступа извне к внутренним структурам данных прикладной ISaGRAF – задачи, возможность разработки драйверов на модули ввода/вывода самим пользователем и портации ISaGRAF – ядра под любую аппаратно-программную платформу;
- ✓ наличие библиотеки драйверов для работы с устройствами ввода/вывода большого количества фирм - производителей (Kontron, Motorola MVME - 162, ABB, Computer Boards, Keitley Metrabyte, WEIDMULLER, Industrial Computer Source и др.).

Система разработки представляет собой набор Windows-приложений, интегрированных в единую инструментальную среду и работающих под ОС Win 95/98/NT. Основу системы исполнения составляет набор программных модулей (для каждой целевой системы свой), выполняющих самостоятельные задачи под управлением ядра ISaGRAF.

Ядро ISaGRAF реализует поддержку стандартных языков программирования, типового набора функций и функциональных блоков и драйверов ввода/вывода. Задача связи обеспечивает поддержку процедуры загрузки пользовательского ISaGRAF-приложения со стороны программируемого контроллера, а также доступ к рабочим переменным этого приложения со стороны отладчика системы разработки ISaGRAF. Взаимодействие систем разработки и исполнения осуществляется по протоколу MODBUS, что дает возможность доступа к данным контроллера не только отладчику ISaGRAF, но и любой системе визуализации и управления данными (SCADA). Драйверы устройств сопряжения с объектом организуют прозрачный доступ к аппаратуре ввода/вывода. Функции пользователя реализуют процедуры и алгоритмы функций, не представленные в стандартном варианте поставки системы ISaGRAF. Системные функции предназначены для описания специфики конкретной операционной системы, реализованной на данном типе контроллеров. Структура программного пакета ISaGRAF представлена на рисунке 7 [9].

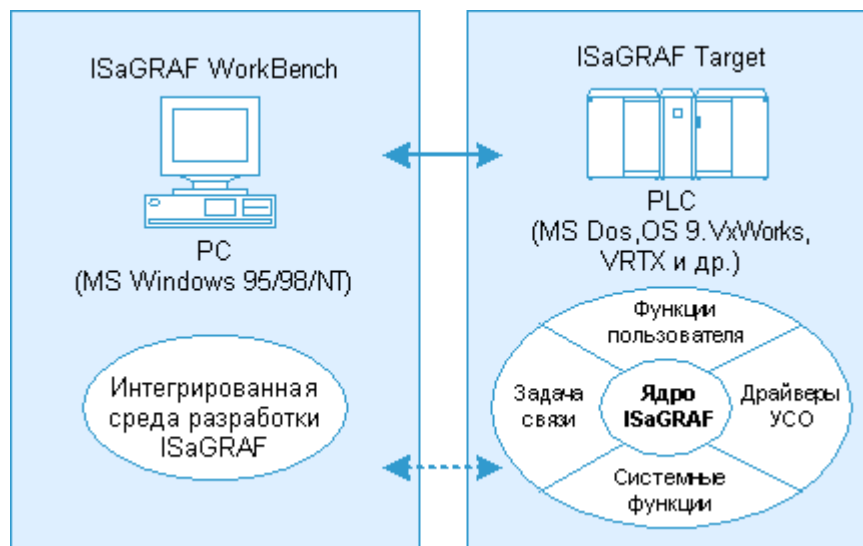


Рисунок 7. Структура программного пакета ISaGRAF

В ISaGRAF заложена методология структурного программирования, позволяющая пользователю представить автоматизируемый процесс в наиболее легкой и понятной форме. Стандартом IEC 1131-3 определяется пять языков: три графических (SFC, FBD, LD) и два текстовых (ST, IL). Все языки



программирования интегрированы в единую инструментальную среду и работают с едиными объектами данных.

### **Языки программирования пакета ISaGRAF**

Для программирования контроллеров могут применяться следующие языки.

1. SFC - графический язык последовательных функциональных схем (Sequential Function Chart). Язык SFC предназначен для использования на этапе проектирования ПО и позволяет описать "скелет" программы - логику ее работы на уровне последовательных шагов и условных переходов.
2. LD - графический язык диаграмм релейной логики (Ladder Diagram). Язык LD применяется для описания логических выражений различного уровня сложности, программа на котором представляет собой аналог релейной схемы. Данный язык должен был облегчить переход инженеров из области релейной автоматики на ПЛК.
3. FBD - графический язык функциональных блочных диаграмм (Function Block Diagram), так же, как и LD, использующий аналогию с электрической (электронной) схемой. Программа на языке FBD представляет собой совокупность функциональных блоков, входа и выхода которых соединены линиями связи. Практика показывает, что FBD является наиболее распространенным языком стандарта IEC. Графическая форма представления алгоритма, простота в использовании, повторное использование функциональных диаграмм и библиотеки функциональных блоков делают язык FBD незаменимым при разработке программного обеспечения ПЛК.
4. IL - язык инструкций (Instruction List). Это язык низкого уровня класса ассемблера и применяется для программирования эффективных, оптимизированных процедур. Ввиду своей ненаглядности, IL практически не используется для программирования комплексных алгоритмов автоматизированного управления, но часто применяется для кодирования отдельных функциональных блоков, из которых впоследствии складываются схемы FBD или SFC.
5. ST - язык структурированного текста (Structured Text). Это язык высокого уровня, по мнемонике похож на Pascal и применяется для разработки процедур обработки данных. С помощью ST можно легко реализовывать арифметические и логические операции (в том числе, побитовые), безусловные и условные переходы, циклические вычисления; возможно использование как библиотечных, так и пользовательских функций. Язык также интерпретирует более 16 типов данных.

Язык ST может быть освоен технологом за короткий срок, однако текстовая форма представления программ служит сдерживающим фактором при разработке сложных систем, так как не дает наглядного представления ни о структуре программы, ни о происходящих в ней процессах.

Рисунок 8 демонстрирует место каждого из представленных в ISaGRAF языков на различных этапах разработки прикладного программного обеспечения (ППО).

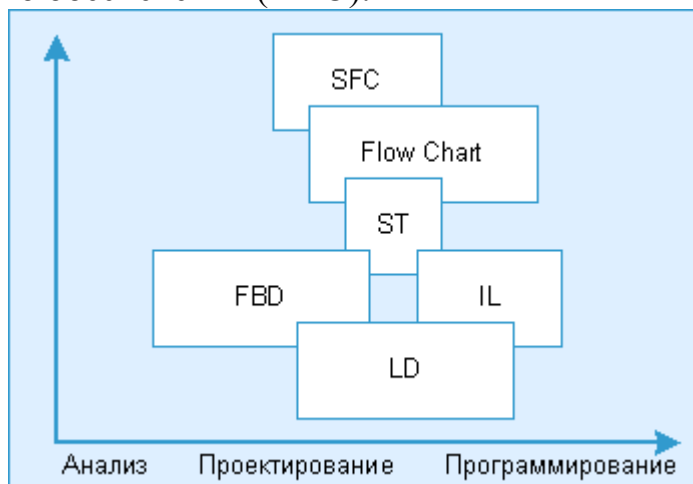


Рисунок 8. Языки программного пакета ISaGRAF на различных этапах разработки ППО

### 3.2 Методика составления программ регулирования и сигнализации и их отладка

Для создания программы, реализующей регулирование по ПИД - закону и сигнализацию необходимо запустить приложение ISaGRAF. После запуска приложения открывается окно, представленное на рисунке 9.

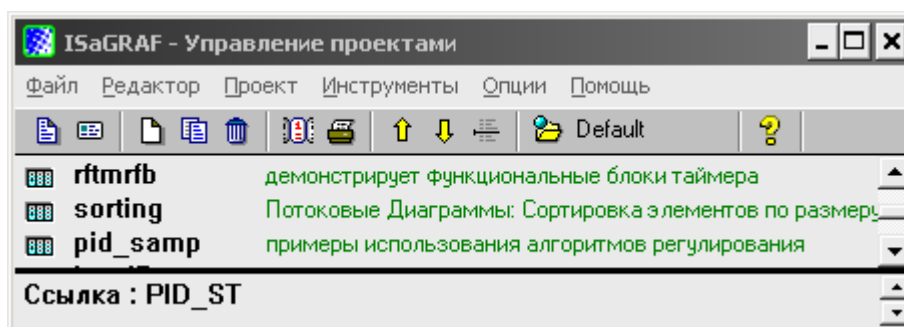



Рисунок 9. Окно приложения ПРОЕКТЫ

Для создания своего проекта следует воспользоваться меню ФАЙЛ/НОВЫЙ или используя сочетания клавиш CTRL+N. В результате, в появившемся окне необходимо ввести имя своего проекта, например PID\_ST, данный проект сохранится в следующей директории:

C:\isawin\APL\PID\_ST. После этого ваш проект появиться в списке ПРОЕКТОВ.

Если вы реализуете на языке программирования FBD, это ваш проект будет включать одну программу, а если на языке ST - две. Поскольку реализовать всю программу на языке ST не возможно, т.к. обязателен функциональный блок для чтения значений на аналоговых входах и установки значений на аналоговых выходах модулей контроллера, поэтому проект PID\_ST содержит в себе две программы – IN\_OUT, выполненная на языке FBD, и PIDREG, выполненная на языке ST. Программу IN\_OUT будет использоваться для ввода-вывода аналоговых сигналов с АВК-6, а в программе PIDREG описывается регулирование и сигнализации.

Нажав дважды ЛК на проекте, появится окно ПРОГРАММЫ или командой ФАЙЛ→ОТКРЫТЬ активируем менеджер программ (рис. 10), в котором создаются программы. Используя меню ФАЙЛ/НОВЫЙ или кнопкой , откройте диалоговое окно редактирования имени и языка программирования создаваемой программы. Наберите в нем имя программы, выберите язык программирования, при желании можно набрать комментарий к программе (рис. 11).

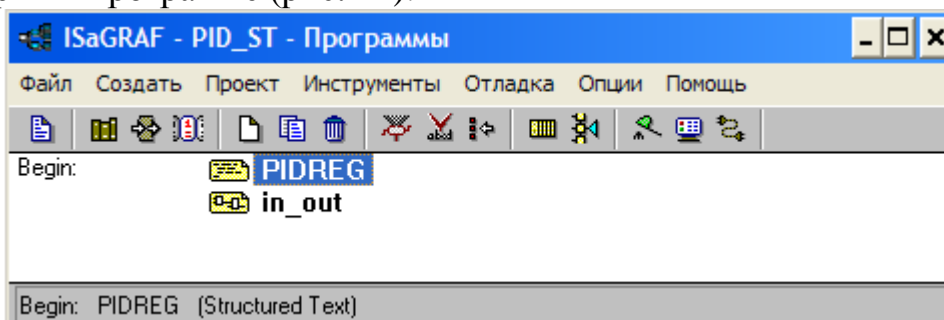


Рисунок 10. Менеджер программ

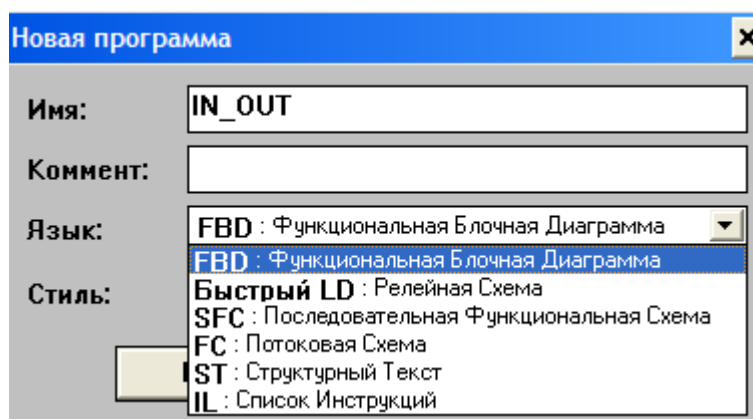



Рисунок 11. Окно создания нового проекта

Теперь необходимо открыть программу IN\_OUT, нажав дважды ЛК по ее имени. Появится рабочая область, где и будем создавать нашу

программу. Прежде чем выберем какие – либо блоки, необходимо объявить в СЛОВАРЕ все переменные, которые пригодятся нам в процессе программирования. Вызов словаря осуществляется при помощи меню ФАЙЛ/СЛОВАРЬ или кнопкой  в менеджере программ, внешний вид словаря продемонстрирован на рисунке 12. Переменные объявляются в соответствии с типом данных. Вот данные типы данных:

- ✓ Булевские – логическая величина;
- ✓ Целые/Действительные – целая или действительная непрерывная величина;
- ✓ Таймеры – временная величина;
- ✓ Сообщения – строка символов;
- ✓ FB экземпляры – экземпляры функциональных блоков, используемые при программировании на языках ST и IL;
- ✓ Макроопределения – синонимы, используемые для замены текстовых строк.

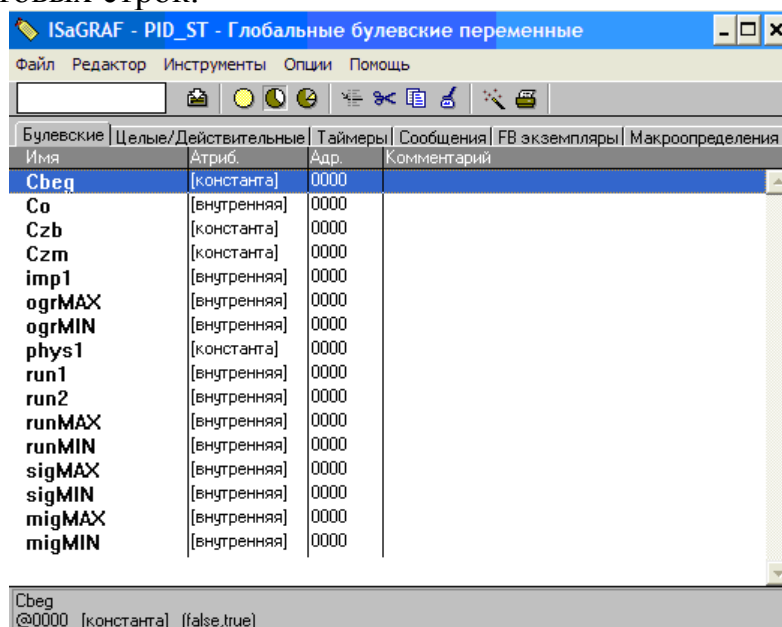


Рисунок 12. Словарь переменных

Для объявления переменной в словаре необходимо кликнуть ЛК по первой свободной строчке или же командой РЕДАКТОР→НОВЫЙ активируйте диалог редактирования булевской переменной, наберите имя переменной, атрибут и сохраните (рис. 13). Объявление целых/вещественных переменных (рис. 14) включает в себя описание имени переменной, атрибута переменной, формата, начального значения (в случае константы) и комментария. Объявление FB экземпляров (рис. 15) сводится к выбору ФБ, вызов которого будет осуществляться в программе, написанной на языке структурированного текста ST.

Булевская переменная

Имя:  Сетевой адрес:

Коммент:

Атрибуты

- Внутренняя
- Вход
- Выход
- Константа

Значения

False:

True:

нач. знач. true

Хранить

Сохранить

Отказ

Следующ

Предыдущ

Расширенный

Рисунок 13. Объявление булевской переменной

Целая/Вещественная переменная

Имя:  Сетевой адрес:

Коммент:

Единицы:

Преобраз:

Атрибуты

- Внутренняя
- Вход
- Выход
- Константа

Формат

- Целая
- Вещест

Нач. знач:

Хранить

Сохранить

Отказ

Следующ

Предыдущ

Расширенный

Рисунок 14. Объявление целых/вещественных переменных

Функциональный блок

Имя:  Тип:

Коммент:

Сохранить

Отказ

Следующ

Предыдущ

Рисунок 15. Объявление ФВ экземпляра

Далее следует вызвать функциональный блок (ФБ) ввода-вывода аналоговых сигналов (sraio) для этого можно использовать выпадающее меню панели управления либо использовать кнопку ВСТАВИТЬ ФБ и двойным нажатием по данному блоку, выбрать необходимый ФБ (рис. 16).

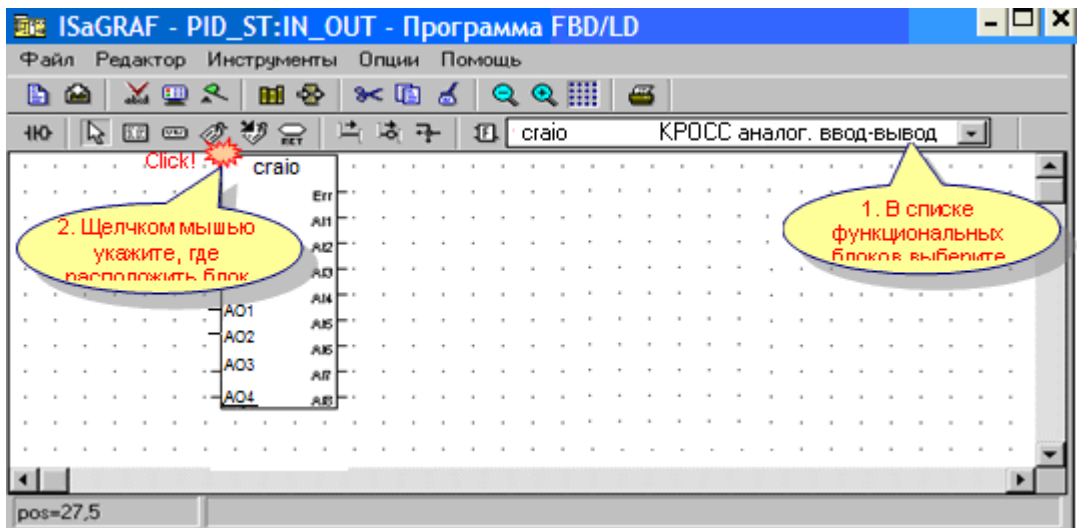


Рисунок 16. Вставка функционального блока модуля ввода-вывода craio

Теперь осуществляем вставку необходимых переменных, для этого нажмем на кнопку на панели управления **ВСТАВИТЬ ПЕРЕМЕННУЮ**, щелчком мышь в области редактирования текста программы редактора укажите место, где вы хотите его разместить. В появившемся диалоговом окне выбора переменной наберите название и кнопкой **Принять** вставьте ее в программу (рис. 17). Таким же образом необходимо вставить все переменные, используемые в данной программе.

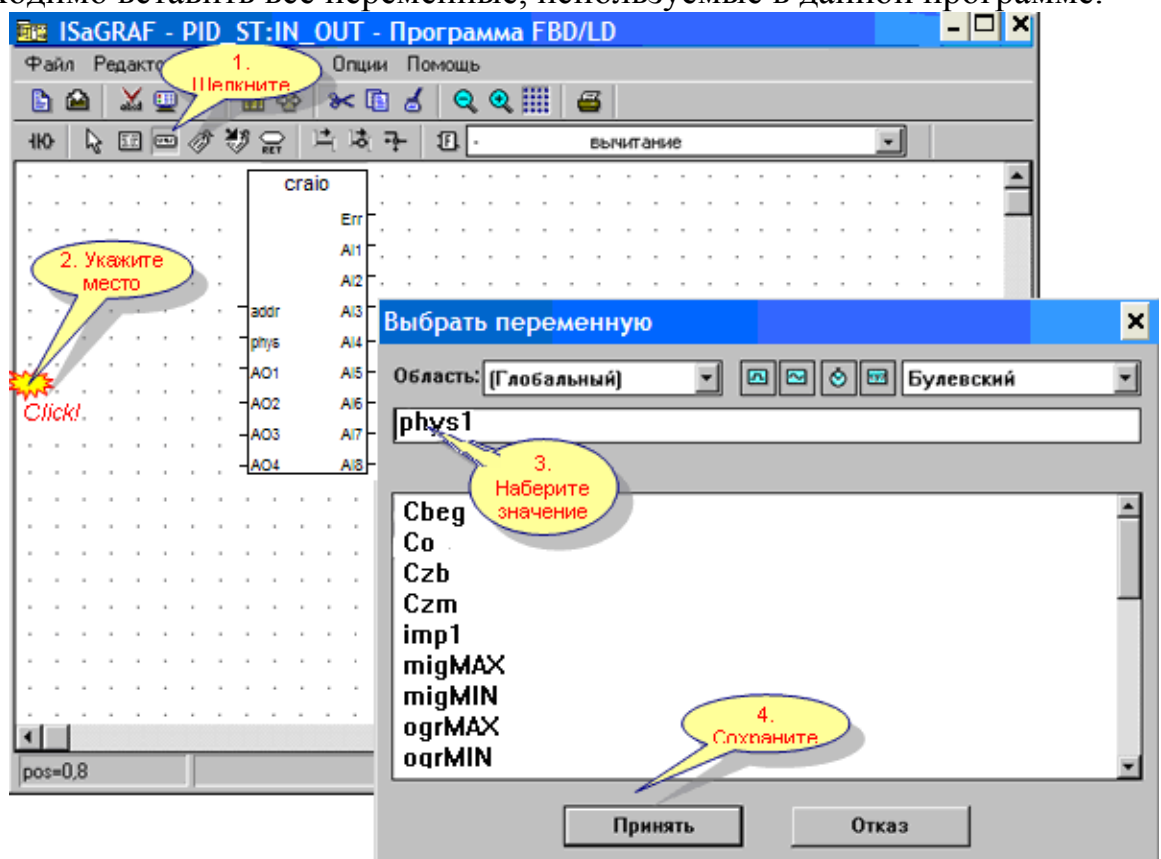


Рисунок 17. Вставка переменных

Для соединения переменной с требуемым входом функционального блока необходимо использовать кнопку НАЧЕРТИТЬ ЛИНИЮ СВЯЗИ в панели инструментов редактора FBD, щелкнуть на нужной переменной и, не отпуская кнопку мыши, провести соединяющую линию к требуемому входу функционального блока (рис. 18). Осуществляем соединение всех переменных с ФБ таким образом. Все входы и выходы ФБ должны быть соединены, в противном случае программа не будет работать. Готовая программа должна выглядеть так же как на рисунке 19.

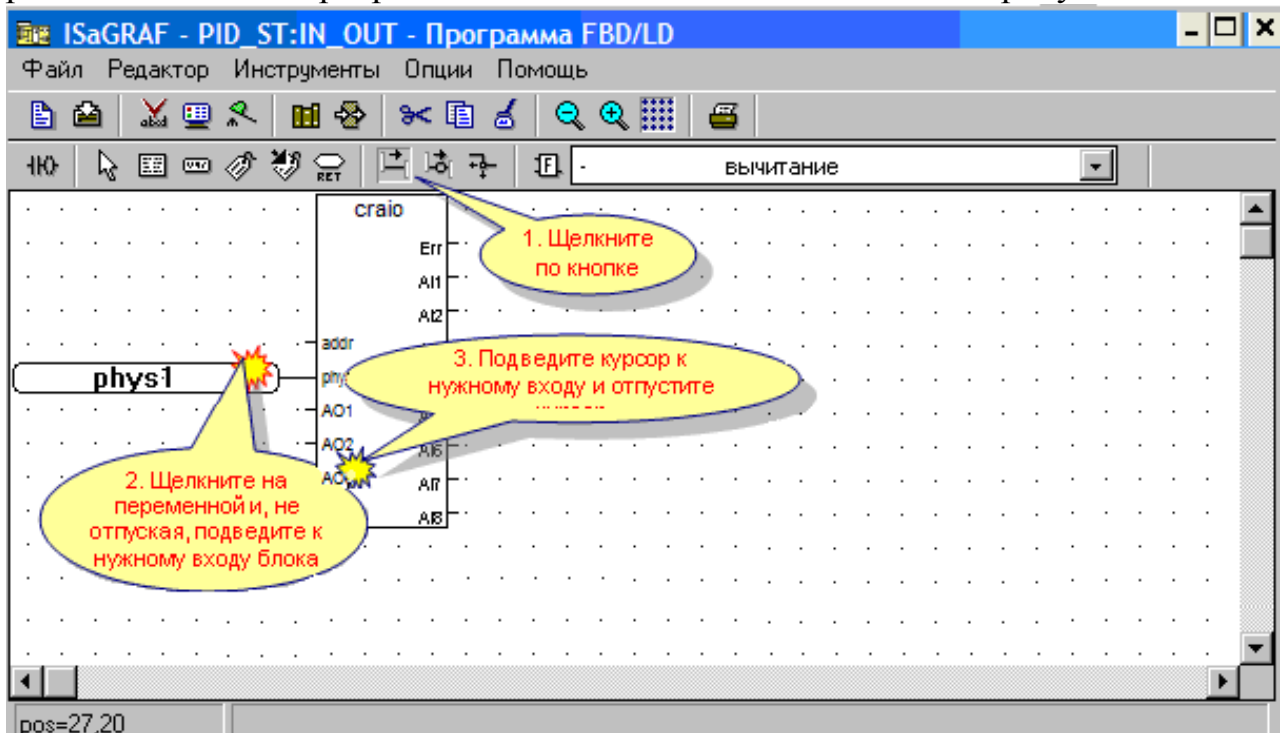


Рисунок 18. Соединение переменных с ФБ

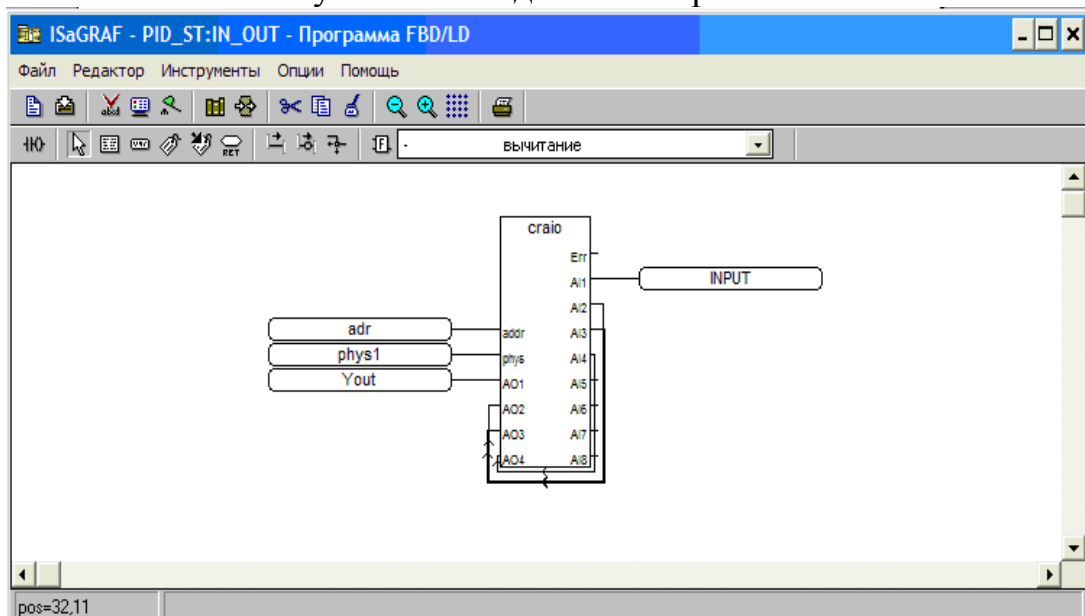


Рисунок 19. Окно программы IN\_OUT

При программировании на языке FBD таким же образом вставляем все функциональные блоки, необходимые для реализации ПИД-регулятора и сигнализации и осуществляем их конфигурацию, как описывалось выше.

Затем сохраняем программу и закрываем. При программировании на языке структурированного текста ST следует создать программу PIDREG, где описывается непосредственно уравнение ПИД-регулятора и сигнализация.

Рассмотрим особенности программирования на языке ST. Программа, составленная на языке ST – это список ST операторов. Каждый оператор заканчивается точкой с запятой. Имена используемых в исходном коде (идентификаторы переменных, константы, ключевые слова) разделены неактивными разделителями (пробелами, символами окончания строки и табуляции) или активными разделителями, которые имеют определенное значение. Например, разделитель «>» означает сравнение «больше чем». В текст могут быть введены комментарии. Комментарий должен начинаться с «(» и заканчивается «)».

Основные типы операторов языка ST:

- ✓ Оператор присвоения (variable:=expression).
- ✓ Вызов подпрограммы или функции.
- ✓ Вызов функционального блока.
- ✓ Операторы выбора (IF, THEN, ELSE, CASE).
- ✓ Итеративные операторы (FOR, WHILE, REPEAT).
- ✓ Управляющие операторы (RETURN, EXIT).
- ✓ Специальные операторы для связи с такими языками как SFC

Выражения ST объединяют операторы и операнды (переменные или константы). Для одного выражения (объединяющего операнды с одним ST оператором), тип операндов должен быть одним и тем же. Это одно выражение имеет тот же тип, что и его операторы и может быть использовано в более сложном выражении.

Стандартные ST вызовы функций могут быть использованы для каждого из следующих объектов: подпрограммы, библиотечные функции и функциональные блоки, «С» функции и функциональные блоки, функции преобразование типов [3].

Реализация любой задачи на языке структурированного текста осуществляется при помощи вызова функциональных блоков, в нашем случае для реализации уравнения ПИД – регулятора.

Для описания необходимых блоков на языке ST необходимо изначально в словаре описать переменные этого блока, а именно входные и выходные переменные, а также ввести переменную, которая будет вызывать соответствующий блок на вкладке FB – экземпляры с именем отличным от имени функционального блока (differ – dif). Для описания переменных каждого блока потребуется использовать информацию о



типе входных и выходных переменных, для этого необходимо вызвать блок в программе FBD, двойным щелчком открыть окошко данного блока, выбрав информацию о данном блоке, перейти на замечания и ознакомиться со свойствами каждой переменной, как показано на рисунке 20.

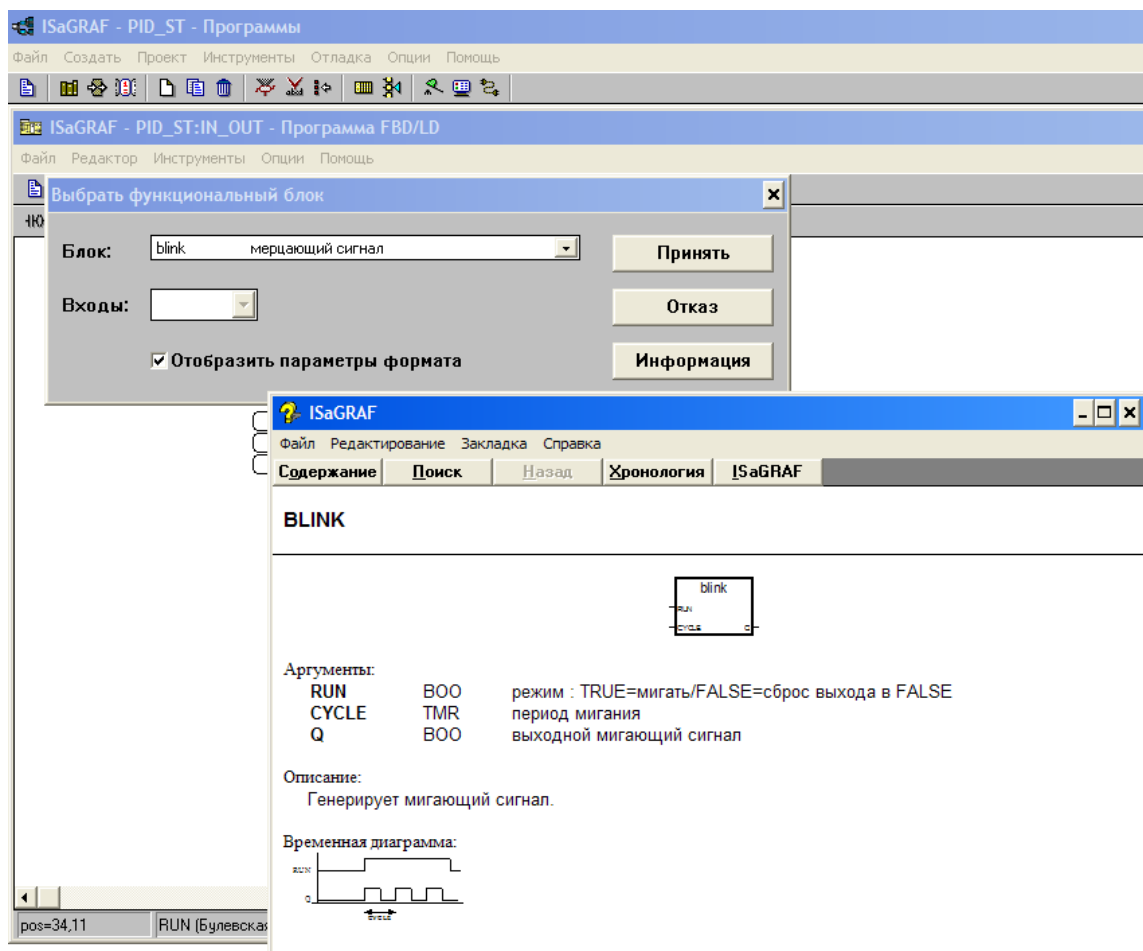



Рисунок 20 – Доступ к информации о функциональном блоке

Также необходимо помнить, что имя выходной переменной должно отличаться от имени выходной переменной существующего функционального блока, поскольку впоследствии осуществляется привязка к блоку посредством этой переменной.

После описания переменных вызываем блок следующим образом:

- ✓ в программе ST вводим новое имя функционального блока и его новые переменные в скобках.
- ✓ присваиваем значение новой выходной переменной к функциональному блоку, который описан выше с выходной переменной реального функционального блока через точку.

Также при программировании на языке ST при реализации сигнализации используется цикл условия. Структура описания цикла условия следующая: IF (условие) THEN (действие, на которое накладывается условие) ELSE (обратное действие) END\_IF (конец цикла).

После завершения процедуры программирования данных программ необходимо проверить программы на ошибки. Для этого существует команда **ФАЙЛ→ПРОВЕРИТЬ** или кнопка . При этом открывается информационное окно состояния хода проверки программы и при отсутствии ошибок появляется соответствующее сообщение – рисунок 21.

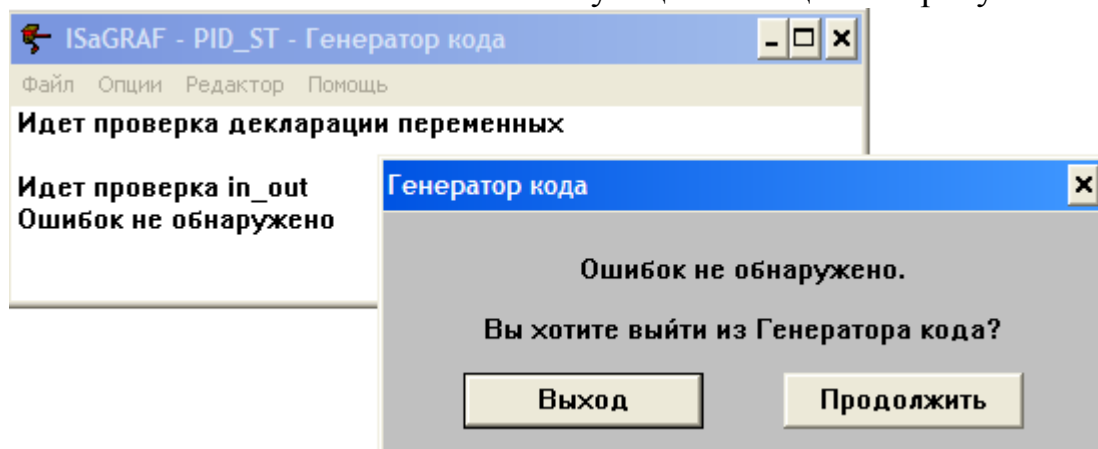



Рисунок 21 – Окно состояния проверки программы

Следующий этап – это установка связи программы с контроллером. Для этого необходимо зайти в меню **ОПЦИИ/ОПЦИИ КОМПИЛЯТОРА** (рис.22) и установить метку напротив **TIC code for Intel** для контроллера Кросс – 500. Затем открыть окно **ISaGRAF-ПРОГРАММЫ**, зайти в меню **ОТЛАДКА/УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ** или кнопкой  настройте параметры связи ПК с блоком БЦП, как приведено на рисунке 23 Установить коммуникационный порт **ETHERNET**, а в **УСТАНОВКЕ** прописать адрес **192.168.0.11** (адрес контроллера) и номер порта **1100**.

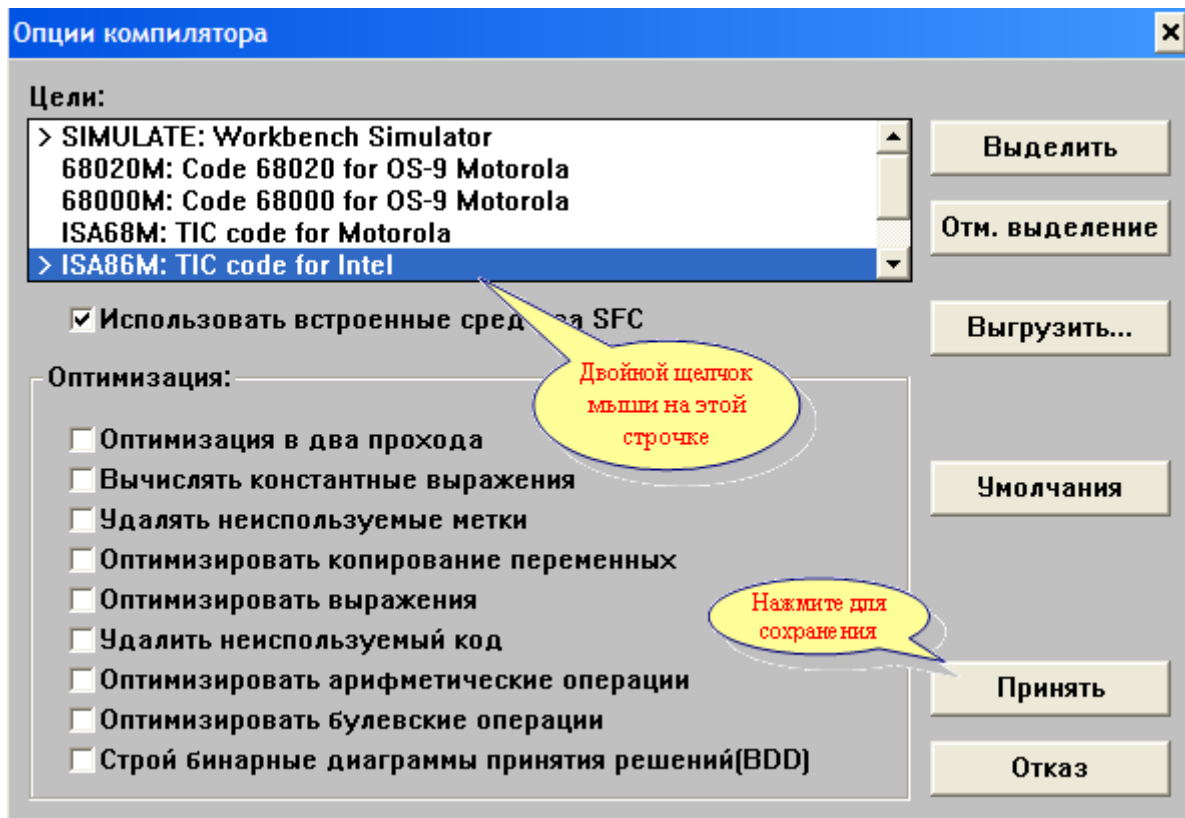


Рисунок 22 – Опции компилятора

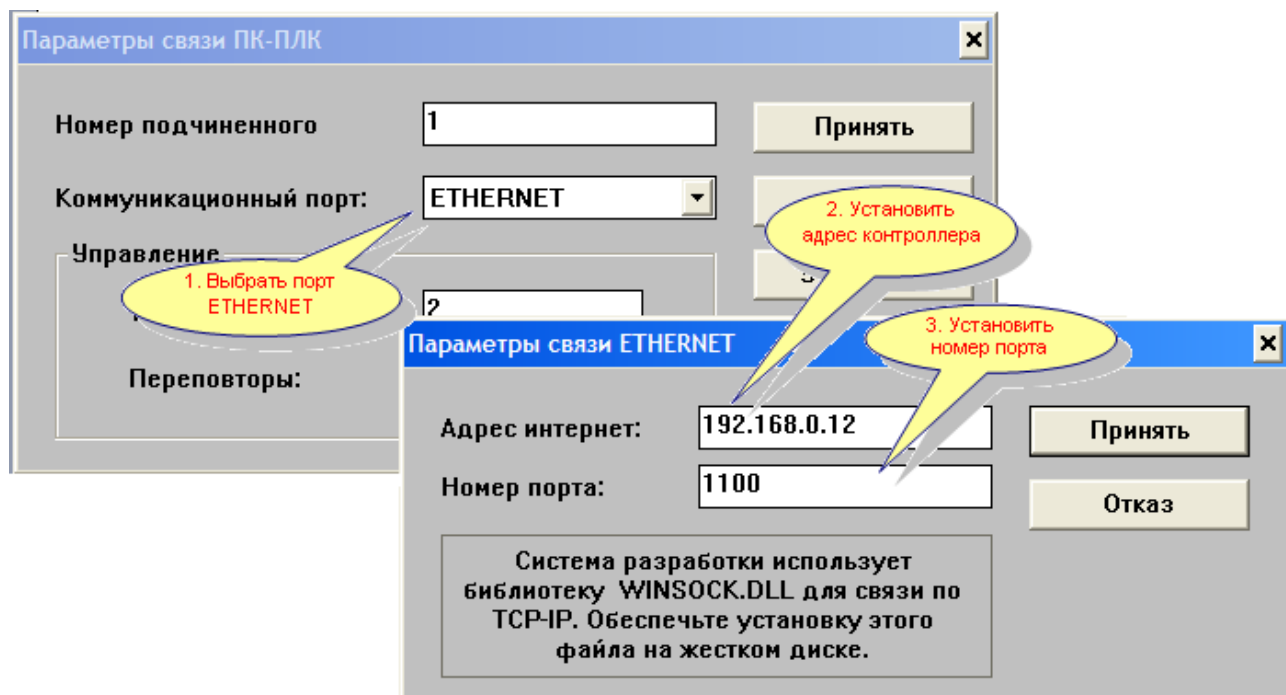






Рисунок 23 – Настройка параметров связи ПК с БЦП

Теперь необходимо создать код приложения для загрузки программы в контроллер. Для этого следует открыть окно ISaGRAF-ПРОГРАММЫ и зайти в меню СОЗДАТЬ/СОЗДАТЬ КОД ПРИЛОЖЕНИЯ или кнопкой  на панели управления. При наличии ошибок исправьте их, и проверить программу заново.

Теперь программа регулирования готова к загрузке в контроллер. Необходимо запустить отладчик с помощью ФАЙЛ/ОТЛАДКА или кнопкой  на панели управления, при этом на экране появится окно отладчика. При наличии связи между ПК и БЦП отладчик будет иметь вид как на рисунке 24. Если в БЦП уже загружено какое-то приложение, перед загрузкой нового необходимо командой ФАЙЛ→ОСТАНОВИТЬ ПРИЛОЖЕНИЕ или кнопкой  остановить его. Загрузка готового приложения осуществляется командой ФАЙЛ→ЗАГРУЗИТЬ или . [7]

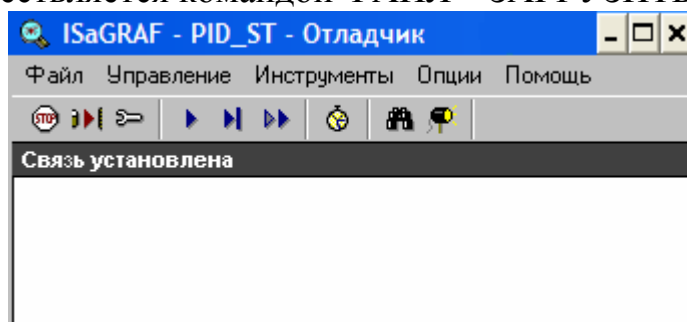


Рисунок 24 – Отладчик ISaGRAF

## 4 МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА MasterScada

### 4.1 Назначение, состав и функции scada-пакетов

SCADA (сокр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – процесс сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами.

Применение SCADA-систем позволяет существенно сократить сроки разработки программного обеспечения, обеспечить высокое качество регулирования, при этом при создании программного обеспечения профессиональные программисты могут и не привлекаться.

Все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента, представленные на рисунке 25.



Рисунок 25 – Основные структурные компоненты SCADA системы

Удаленный терминал (Remote Terminal Unit - RTU) осуществляет обработку задачи (управление) в режиме реального времени. В зависимости от конкретного применения может представлять собой от примитивных датчиков, осуществляющих съем информации с объекта, до специализированных многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управление в режиме жесткого реального времени. Применение устройств низкоуровневой обработки информации позволяет снизить требования к пропускной способности каналов связи с центральным диспетчерским пунктом.

Диспетчерский пункт управления (Master Terminal Unit - MTU) осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме реального времени. Одна из его основных функций – обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой. В зависимости от конкретной системы диспетчерский пункт может быть реализован в виде одиночного компьютера с дополнительными устройствами подключения к каналам связи или больших вычислительных систем и/или объединенных в локальную сеть рабочих станций и серверов. Как правило, и при построении диспетчерского пункта используются различные методы повышения надежности и безопасности работы системы.

Коммуникационная система (каналы связи – Communication System (CS)) необходима для передачи данных с удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи

сигналов управления на диспетчерский пункт (или удаленный объект – в зависимости от конкретного исполнения системы).

В современных диспетчерских системах выделяют следующие особенности процесса управления:

- ✓ процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека (оператора, диспетчера);
- ✓ процесс SCADA был разработан для систем, в которых любое неправильное воздействие может привести к отказу (потери) объекта управления или даже катастрофическим последствиям;
- ✓ оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая, при нормальных условиях, только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;
- ✓ активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);
- ✓ действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

К SCADA-системам предъявляются следующие основные требования:

- ✓ надежность системы (технологическая и функциональная);
- ✓ безопасность управления;
- ✓ точность обработки и представления данных;
- ✓ простота расширения системы.

Требования безопасности и надежности управления в SCADA включают:

- ✓ никакой единичный отказ оборудования не должен вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления;
- ✓ никакая единичная ошибка оператора не должна вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления;
- ✓ все операции по управлению должны быть интуитивно-понятными и удобными для оператора (диспетчера).

В силу тех требований, которые предъявляются к системам SCADA, спектр их функциональных возможностей определен и реализован практически во всех пакетах. Перечислим основные возможности и средства, присущие всем системам и различающиеся только техническими особенностями реализации:

- ✓ автоматизированная разработка, дающая возможность создания программного обеспечения (ПО) системы автоматизации без реального программирования;
- ✓ средства сбора первичной информации от устройств нижнего уровня;
- ✓ средства управления и регистрации сигналов об аварийных ситуациях;
- ✓ средства хранения информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных);
- ✓ средства обработки первичной информации;
- ✓ средства визуализации представления информации в виде графиков, гистограмм и т.п.

Программные продукты класса SCADA широко представлены на мировом рынке. Это несколько десятков SCADA - систем, многие из которых нашли свое применение и в России. Наиболее популярные из них:

- ✓ RTAP/Plus - Канада;

- ✓ InTouch (Wonderware) - США;
- ✓ Citect (CI Technology) - Австралия;
- ✓ FIX (Intellution ) - США;
- ✓ Genesis (Iconics Co) - США;
- ✓ Factory Link (United States Data Co) - США;
- ✓ RealFlex (BJ Software Systems) - США;
- ✓ Sitex (Jade Software) - Великобритания;
- ✓ Trace Mode (AdAstrA) - Россия;
- ✓ MasterScada (Инсат) –Россия;
- ✓ Cimplicity (GE Fanuc) - США.

В данной курсовой работе используется программный пакет MasterScada (далее MasterScada), который используется для визуализации процесса работы системы регулирования и сигнализации. В связи с этим рассмотрим подробнее отличительные особенности и функциональные возможности данного пакета.

#### **4.2 Описание программного пакета Master Scada**

MasterScada - это не просто один из современных SCADA-пакетов, это принципиально новый инструмент разработки АСУТП, в котором реализована совокупность средств и методов, обеспечивающих резкое сокращение трудозатрат и повышение надежности создаваемой системы, а также характеризуется оптимальным соотношением цены и качества. MasterScada является полнофункциональным SCADA-пакетом программ с расширяемой функциональностью. Пакет построен на клиент-серверной архитектуре с возможностью функционирования, как в локальных сетях, так и в Интернете. Прием и передача данных и сообщений на основе стандартов OPC встроена в ядро пакета. Максимальная поддержка всех стандартов (XML, HTML, ODBC, OLE, COM/DCOM, ActiveX и др.) и открытые описания интерфейсов и форматов данных обеспечивают все



необходимые возможности для стыковки с внешними программами и системами.

Основные преимущества пакета:

1. Единая среда разработки АСУТП.
2. Раздельное конфигурирование структуры АСУТП и логической структуры объекта.
3. Открытость и следование стандартам.
4. Интуитивная легкость освоения:
  - ✓ Удобство инструментария.
  - ✓ Удобство методики разработки.
  - ✓ Мощная трехмерная графика и мультимедиа.
  - ✓ Неограниченная гибкость вычислительных возможностей.
5. Объектный подход.

Функциональные возможности:

- ✓ Пользовательский интерфейс пакета  
Пользовательский интерфейс MasterScada построен на идеологии «все в одном». Все модули расширения встроены в общую оболочку. Пользователь всегда работает с простым единым внешним видом программы, состоящим из древовидного проекта, палитры библиотечных элементов и окна редактирования документов и свойств. В зависимости от типа настраиваемого свойства или редактируемого документа в окне редактирования открывается страница настройки нужного свойства, либо необходимый встроенный или внешний редактор.
- ✓ Проект  
Проект состоит из двух разделов: «Система» и «Объект». Раздел «Система» описывает техническую структуру реализуемой

системы. Раздел «Объект» описывает иерархическую структуру контролируемого технологического объекта свойства и документы каждого объекта.

Окно проекта состоит из четырех основных частей (рис. 26)

1. Древа системы, в котором отображены элементы конфигурации такие, как компьютеры, OPC серверы, и т. д.;
2. Древа объектов, включающее в себя объекты, переменные, группы переменных, функциональные элементы;

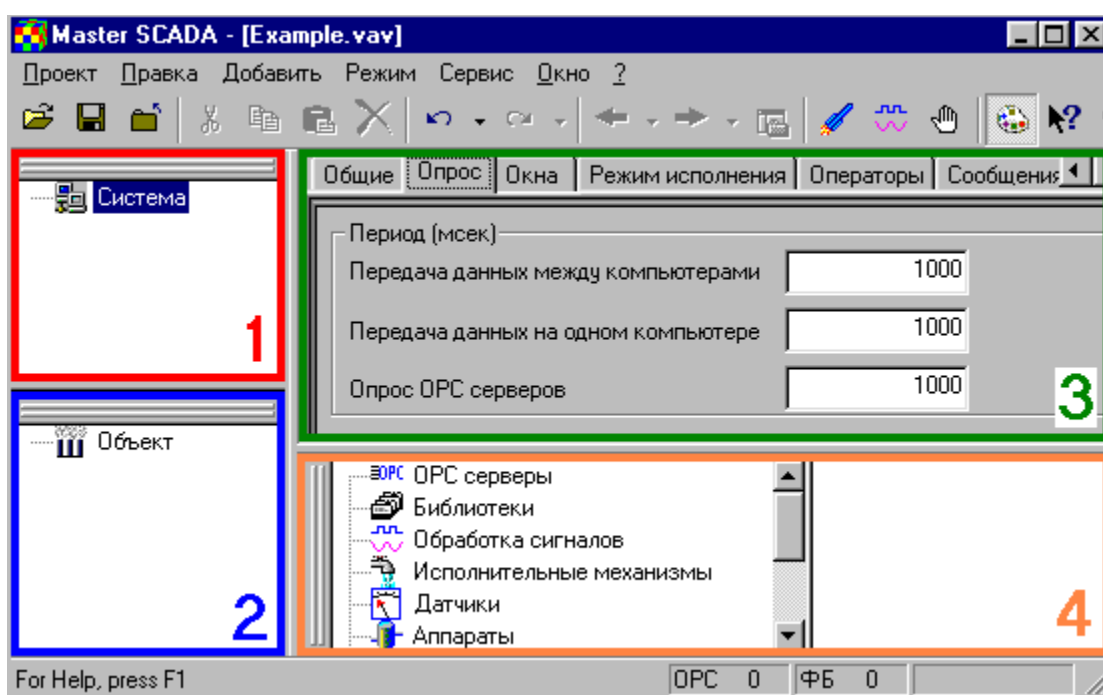


Рисунок 26 - Окно проекта

3. страницы свойств элементов, на которых производятся все необходимые настройки элементов;
4. палитра элементов, из которой берутся библиотечные объекты, функциональные блоки и т. д.

Размеры дерева системы, дерева объектов и палитры можно изменять и они могут располагаться в любом месте экрана. Страницы свойств занимают все оставшееся пространство.

Проект состоит из ограниченного набора многофункциональных элементов.

Набор элементов дерева «Система» следующий:

- ✓ Система (корневой элемент). Используется для общих настроек проекта (периоды опроса, типы мнемосхем и документов объектов, шкалы приборов, категории сообщений, настройки журналов, права доступа операторов и т.п.).
- ✓ Компьютер. Используется для коррекции тех настроек проекта, которые для данного компьютера отличаются от общих, а также стартовой мнемосхемы, списка операторов, имеющих доступ к этому рабочему месту, и т.п.
- ✓ OPC-сервер. Используется для настройки связи с контроллерами.
- ✓ Группы OPC-переменных. Формируются на основании информации о группировании переменных, полученной из OPC-сервера. Можно создавать дополнительные группы. Используются для группового задания настроек опроса переменных.
- ✓ OPC-переменные. Используются для связи с переменными контроллера. Наследуют настройки, заданные при конфигурировании переменной в OPC-сервере. В зависимости от заданного в OPC-сервере разрешения на чтение-запись подразделяются на входы, выходы и входы-выходы.

Набор элементов дерева «Объект»:

- ✓ Объект (корневой элемент). Используется для задания общих настроек, наследуемых другими объектами (периоды обработки данных и т.п.).
- ✓ Объект (элемент иерархии). Используется для задания перечня и содержимого относящихся к нему документов (мнемосхем,

трендов, журналов сообщений, рапортов, архивов, расписаний действий и т.п.). Подчиненные объекты наследуют настройки родительского объекта. Объект всегда позиционирован на одном из компьютеров системы. Тем самым задается, что эта рабочая станция используется для обработки данных объекта и хранения его первичного архива, а также определяет перечень операторов, имеющих к нему доступ.

- ✓ Функциональный блок. Библиотечный объект, предназначенный для обработки данных. Имеет функцию, входы, выходы, параметры настройки, сообщениями.
- ✓ Визуальный функциональный блок. Функциональный блок, имеющий визуальное (в виде динамического элемента мнемосхемы) представление. Визуальный функциональный блок можно путем перетаскивания вставлять в документы объекта.
- ✓ Группа переменных. Используется для задания общих настроек, наследуемых входящими в нее переменными и группами переменных (периоды обработки данных).
- ✓ Значение. Переменная для отображения измеренного значения. Как и все другие виды переменных имеет шкалу, единицу измерения, встроенный контроль границ и скорости изменения с формированием сообщений и изменением цвета отображения. При перетаскивании в мнемосхемы и окна может быть вставлена, как в виде числового значения, так и в виде щитового прибора выбранного типа.
- ✓ Команда. Переменная для передачи введенного значения от органа управления мнемосхемы или поля ввода иных документов. При перетаскивании в мнемосхемы и окна может

быть вставлена, как в виде изменяемого числового значения, так и в виде щитового органа управления выбранного типа.

- ✓ Расчет. Переменная, значение которой формируется в результате вычисления заданной пользователем формулы (содержащей арифметические и логические выражения любой сложности с включением библиотечных функций, в том числе для работы с архивами).
  - ✓ Событие. Отличается от расчета логическим результатом вычисления, а также возможностью формирования сообщения и выполнения заданного перечня действий в момент перехода значения из 0 в 1 (из отключенного во включенное состояние).
- Обработка данных .
  - Библиотеки.
  - Сценарии.
  - Мнемосхемы.
  - Тренды.
  - Сообщения.
  - Рапорты.
  - Архивы.
  - Обмен данными по сети.
  - Права доступа и контроль действий оператора.
  - Режимы работы.

Существует три возможных варианта работы в режиме исполнения.

- ✓ Рабочий режим. Это основной режим исполнения. В Рабочем режиме должен быть осуществлен переход к нему на всех компьютерах системы. Программа производит реальное управление технологическим процессом.
- ✓ Режим отладки. Этот режим предназначен для отладки проекта на одном компьютере. Независимо от того, сколько

компьютеров находится в дереве системы, все объекты, функциональные блоки, OPC серверы создаются на текущем компьютере и все действия производятся на нем.

- ✓ Режим имитации. В этом режиме на все входы, не имеющие связей, вместо констант будет подаваться имитация в соответствии с настройками системы.
- Возможности отладки.
- Средства повышения надежности работы.

Пакет программ MasterSCADA имеет ряд возможностей, направленных на повышение надежности работы (восстановление проекта после сбоя, горячий рестарт, копирование архива, журналирование внутренних событий). В режиме разработки используется безопасная вставка ActiveX элементов сторонних разработчиков (перехват наиболее типичных ошибок). Список этих возможностей постоянно расширяется. [8,9]

### **4.3 Методика разработки программ визуализации процессов контроля, регулирования и сигнализации**

Программа визуализации регулирования REG использует переменные программы PID\_ST, т.е. переменные SCADA-системы ссылаются на переменные ISaGRAF. При этом связь переменных осуществляется через OPC сервер, предназначенный для сопряжения ISaGRAF с Master SCADA. Поэтому перед началом создания программы визуализации необходимо настроить и запустить OPC – сервер.

#### **4.3.1 Создание мнемосхемы**

Запустите программу MasterScada (ПУСК/ВСЕ ПРОГРАММЫ/MasterScada/ MasterScada). В результате появится окно «Создание проекта» (рис. 27), в котором введите имя своего проекта.

Затем введите пароль доступа к вашему проекту. Если ничего не ввести, то при новом запуске ваш проект не будет требовать пароль.

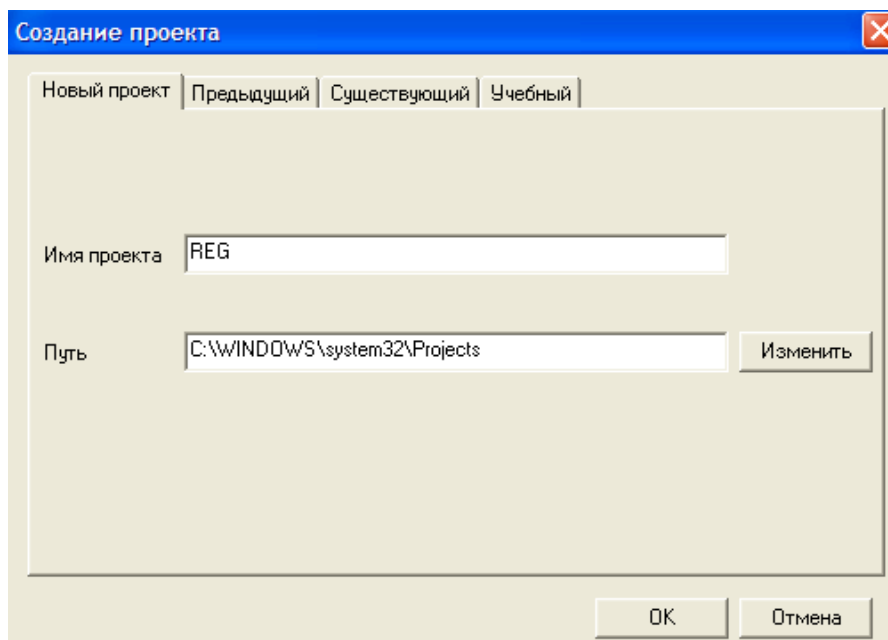


Рисунок 27 – Окно создания проекта

В итоге появится окно проекта (рис. 28).

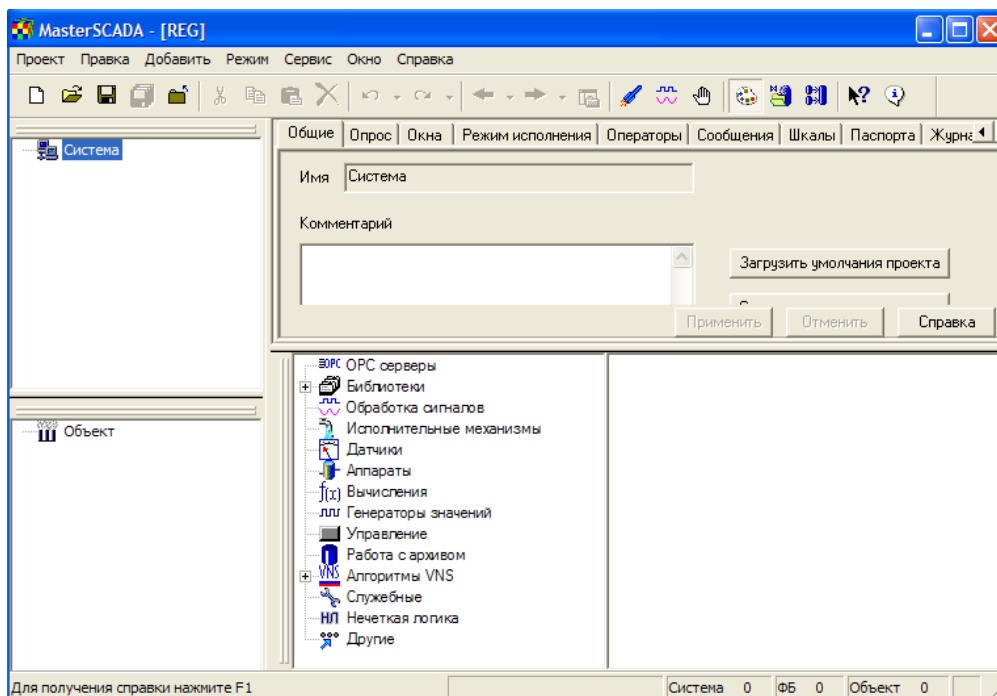


Рисунок 28 – Окно проекта

Теперь создадим соединение между контроллером и средой ISaGRAF. Для этого выделите объект «Система» в дереве системы и

щелкните по ней правой клавишей (ПК), выберете ВСТАВИТЬ/КОМПЬЮТЕР. В странице свойств элемента в поле «Имя» введите имя используемого компьютера (например titan2), не забыв нажать на кнопку ПРИМЕНИТЬ – для сохранения.

Теперь нажав ПК на «titan2», добавьте OPC – сервер (ВСТАВИТЬ/OPC – СЕРВЕР).

Доступ к данным OPC серверов осуществляется через OPC переменные в MasterScada. Поэтому необходимо добавить OPC переменные(ВСТАВИТЬ/OPC ПЕРЕМЕННЫЕ).

В появившемся окне «Свойства: выбор переменных» поставьте галочку, выделяя все переменные. В результате все переменные ISaGRAF, используемые при написании технологической программы пользователя будут доступны в MasterScada.

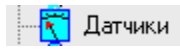
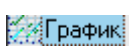
Число мнемосхем в проекте не ограничено, но число мнемосхем объекта ограничено - объект может иметь по одной мнемосхеме каждого разрешенного в проекте типа. Именно поэтому для создания нескольких мнемосхем необходимо создавать несколько объектов, у каждого из которых будет своя мнемосхема.

Основной способ создания мнемосхем - перетаскивание из дерева проекта объектов, визуальных функциональных блоков и переменных, уже обладающих всей необходимой функциональностью (изображение, динамизации, окна управления и т.п.).

#### **4.3.2 Создание графика**

Для того чтобы создать графическую часть проекта, необходимо работать с деревом объекта. Выделите «Объект» и щелкните по нему правой клавишей (ПК), выберете ВСТАВИТЬ/ОБЪЕКТ. В странице свойств ОБЪЕКТА 1 выберете компьютер «titan2», здесь же можно поменять имя объекта. Далее в палитре инструментов выберете



 , щелкните левой клавишей мышки (ЛК) по объекту  и перетащите его в «Объект 1». В итоге дерево объектов будет выглядеть следующим образом (рис. 29):

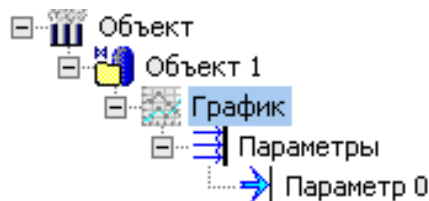
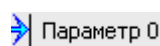


Рисунок 29 – Дерево объектов

На странице свойств элемента «График» войдите на закладку «Настройки» и укажите ЧИСЛО ПАРАМЕТРОВ. Нажмите кнопку ПРИМЕНИТЬ. Затем из дерева системы выберете переменную t1\_XIN и перетащите ее в . В результате, у этого параметра появится розовая черта, это и означает, что переменные связаны. Таким же образом свяжите остальные переменные с параметрами графика.

Для перехода на мнемосхему необходимо выделить Объект 1 и на странице свойств элемента перейти на закладку «Окна», где по умолчанию должна быть выбрана мнемосхема, нажать на кнопку РЕДАКТИРОВАТЬ. Впоследствии переход на мнемосхему будет осуществляться таким образом: выделите «Объект 1» и щелкните по нему ПК, выберете ПЕРЕЙТИ НА/МНЕМОСХЕМА.

Выделите объект «График» и перетащите его на мнемосхему (рис. 30).

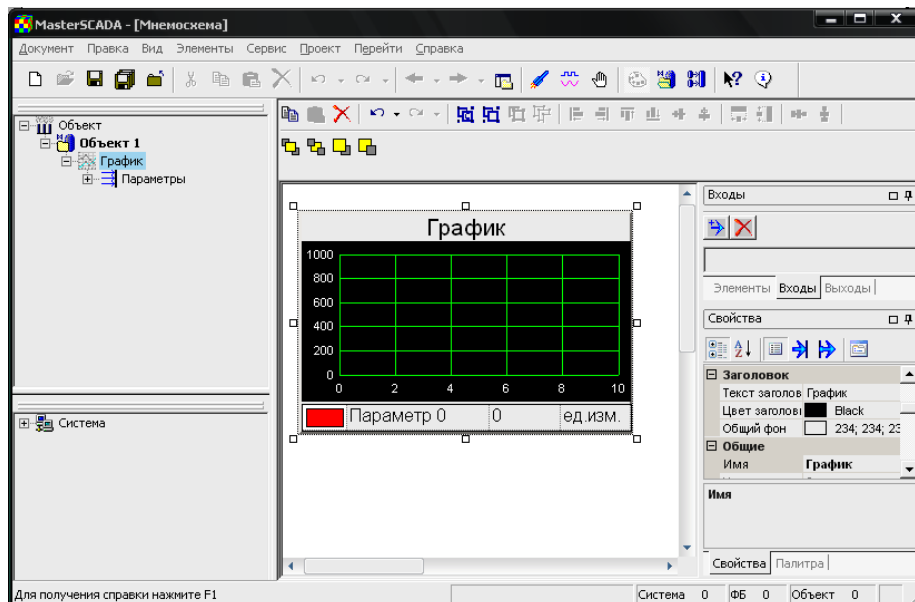




Рисунок 30 - График

В правом нижнем углу редактора мнемосхем отображаются свойства элементов мнемосхемы, которые позволяют изменять, например, цвет, размер, положение элементов и т.д. Установите у графика максимальное и минимальное значения по осям. Ввести ряд изменений также можно посредством окна СВОЙСТВ элемента, которое появится, если выделить элемент, нажать ПК и выбрать «СВОЙСТВА».

#### 4.3.3 Создание команд

В дереве системы выделите «Объект 1», щелкните ПК и выберите ВСТАВИТЬ/КОМАНДА. Команды позволяют изменять значения переменных в режиме работы. Перетащите необходимую переменную, например t1\_KP (коэффициент пропорциональности ПИД-регулятора), в  Команда 1. Аналогичным образом создайте команды изменения остальных параметров. Перетащите команды из дерева объектов на мнемосхему. Имя команды можно изменить, используя закладку «Общие» на странице свойств элемента.

#### 4.3.4 Вставка значений

В дереве системы выделите «Объект 1», щелкните ПК и выберите ВСТАВИТЬ/ЗНАЧЕНИЕ. Значение используется для визуализации данных. Имя значения можно изменить, используя закладку «Общие» на странице свойств элемента. Создадим значение с именем «Индикатор». Теперь перетащим необходимую переменную в  Индикатор, как описывается в следующем пункте. Затем перетащим значения из дерева объектов на мнемосхему ПК мыши, выбрав из контекстного меню вид индикатора, ниже в п. 3.3.8.3 описано более подробно их реализация. В свойствах можно изменить вид данного индикатора.

Также значения можно помещать непосредственно на мнемосхему из дерева системы, тогда это будет цифровое представление данной переменной, иллюстрация на рисунке 31.

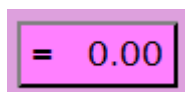


Рисунок 31 – Значение переменной

#### 4.3.5 Создание кнопок

Для того чтобы создать кнопку, необходимо перейти на палитру инструментов, выбрать УПРАВЛЕНИЕ/КНОПКА и перетащите ее в «Объект 1» (рис. 32). Для начала необходимо изменить название данной кнопки на «Включить» (закладка «Общие» страницы свойств элемента). На странице свойств кнопки укажите «Дискретные значения – Вкл/». Перетащите кнопку на мнемосхему. Откройте окно ее СВОЙСТВ ПК мыши, поставьте галочку напротив «Кнопка с фиксацией». По желанию можете изменить размер, шрифт или цвет, а также можно добавить изображение на кнопочку.

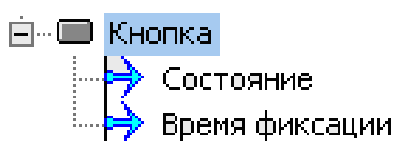


Рисунок 32. – Кнопка

### **4.3.6 Создания элементов мультимедиа**

В данной работе необходимо создание элемента мультимедиа (мультфильм), а именно прообраз регулятора, который начинает работать при включении ручного режима. Для этого вставим МУЛЬТФИЛЬМ В ПРЯМОУГОЛЬНИКЕ из палитры на мнемосхеме на вкладке «Мультимедиа». Теперь динамизируем этот элемент. Для этого выделим элемент и перейдем на панель "Входы", затем выделим Вход и снова перейдем на панель «Свойства», где появились общие свойства. Сначала выберем источник – Объект, и затем перетащим переменную Состояние кнопки «Включить» из дерева объектов в поле «Объект». Переменная добавляется в список входов или выходов мнемосхемы, если ее не было в нем до этого.

### **4.3.7 Организация сигнализации**

Для организации сигнализации по ограничению входного сигнала на максимальное и минимальное значения, необходимо добавить в «Объект 1» из палитры инструментов ДАТЧИКИ/ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ. Затем в странице свойств этого объекта на закладке «Настройки» укажите число параметров – 1. На закладке «Общие» измените имя индикатора, на закладке «Цвета» определите цвета индикатора, которые соответствовали бы начальному состоянию (по умолчанию - например, зеленый) и состоянию, при котором входной сигнал превышал бы заданное максимальное значение (красный). Вход индикатора свяжите с переменной  $t1\_SIGMAX$ , которая отвечает за мигающую сигнализацию по верхнему пределу. Аналогично создайте индикатор нарушения ограничения на минимальное значение входного сигнала ( $t1\_SIGMIN$ ). Перетащите индикаторы на мнемосхему.

Аналогичным образом формируется проверка данных на достоверность (переменные t1\_MIGMAX и t1\_MIGMIN, рис. 33).

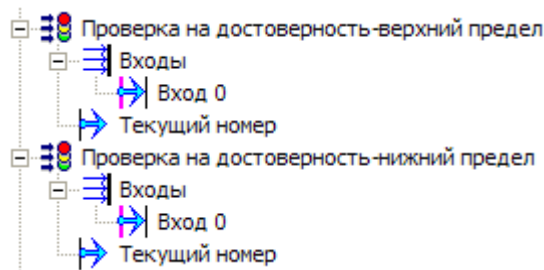


Рисунок 33 – Индикаторы состояния

#### 4.3.8 Создание дополнительных элементов управления

Для качественного контроля программой визуализации используем следующие элементы управления: стрелочный прибор, индикатор значения, индикатор мнемонический, графический, а также задатчик.

##### Стрелочный прибор

Стрелочный прибор предназначен для отображения значения аналоговой переменной. Для осуществления привязки стрелочного прибора к источнику данных, позволяющих отслеживать значение некоторой переменной в мнемосхеме, перетащим интересующую аналоговую переменную (за исключением команд) в мнемосхему ПК мыши, и в раскрывающемся контекстном меню выберем «СТРЕЛОЧНЫЙ ПРИБОР». Существует другой способ привязки, воспользовавшись палитрой элементов графического редактора. Но при работе графического редактора MasterGraph в составе пакета программ MasterScada, первый способ является наиболее предпочтительным.

Также возможно изменить свойства стрелочного прибора, вызвав контекстное меню ПК мыши. Здесь представлен стандартный набор свойств: вид, шкала, значение, аварийные зоны, граница, цвет, шрифт, связь, подсказка. Есть возможность изменения заголовка стрелочного прибора, изменение единицы измерения, выбор штриховки, длина шкалы,

тип значения, выбор цветовой сигнализации стрелочного прибора, цветовое решение прибора и многое другое (рис. 34).

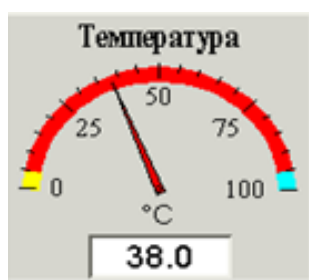


Рисунок 34 – Стрелочный прибор

### **Индикатор значения**

Индикатор значения предназначен для отображения аналогового значения переменной в виде вертикального или горизонтального столбика. Процедура привязки индикатора к источнику данных осуществляется аналогичным способом, описанным выше, только выбирается соответственно «ИНДИКАТОР». Обладает теми же свойствами (рис. 35).

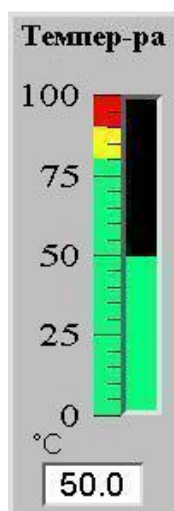


Рисунок 35 – Индикатор значения

### **Индикатор мнемонический и графический**

Индикаторы предназначены для индикации состояния дискретных переменных. Индикаторы не представлены ни в палитре функциональных блоков MasterScada, ни в палитре элементов графического редактора

MasterGraph. Единственный способ, с помощью которого можно создать данный элемент управления на мнемосхеме: перетащим дискретную переменную (значение переменной из пункта 3.3.4) в мнемосхему ПК мыши, и в раскрывающемся контекстном меню выберем «Индикатор мнемонический или графический», для того чтобы наблюдать состояние этой переменной.

Существует возможность задания цвета отображения данного индикатора в зависимости от состояния связанной дискретной переменной. Эти и другие настройки внешнего вида произведем на странице свойств "Вид", непосредственно на мнемосхеме.

Изображение индикаторов представлено на рисунке 36 и 37.



Рисунок 36 – Индикатор графический

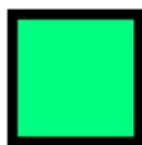


Рисунок 37 – Индикатор мнемонический

### **Задатчик**

Основное назначение задатчика - быть источником данных для аналоговой команды в дереве объектов. Кроме того, задатчик может быть использован и для изменения свойств других элементов мнемосхем. В поле задатчика может отображаться градуированная шкала, поле цифрового значения переменной, единица измерения.

Привязка задатчика и выхода команды схожа с привязкой индикатора или стрелочного прибора к источнику данных, описанная выше. Разница заключается лишь в том, что теперь необходимо

использовать не аналоговую переменную, а команду. Также существует два варианта:

1. Перетащить нужную аналоговую команду в мнемосхему правой кнопкой мыши, и в раскрывающемся контекстном меню выбрать "Задатчик".
2. Создать Задатчик в мнемосхеме, воспользовавшись палитрой элементов графического редактора. Динамизировать свойство задатчика "Значение" по выходу, связанному с Командой

Свойства задатчика полностью схожи со свойствами вышеописанных элементов управления. Внешний вид задатчика представлен на рисунке 38.

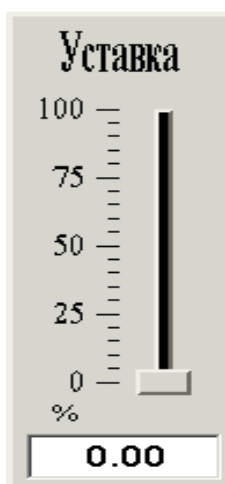


Рисунок 38 – Задатчик

#### 4.3.9 Создание таблицы

Таблица предназначена для отображения значений переменных в виде таблицы параметров. Для создания таблицы необходимо перейти на палитру инструментов, выбрать УПРАВЛЕНИЕ/ТАБЛИЦА, перенести в «Объект 1» (рис. 39).

На закладке «Общие» страницы свойств элементов изменяем название таблицы, добавляем комментарии, изменяем число входов и выходов таблицы на закладке "Параметры". Таблицу перетаскивается на



мнемосхему, единицы измерения, формат значения и аварийные зоны наследуются от настроек переменных привязанных ко входам таблицы в дереве объекта. Свойства таблицы можно вызвать ПК мышью и изменить оформление таблицы (рис. 39).

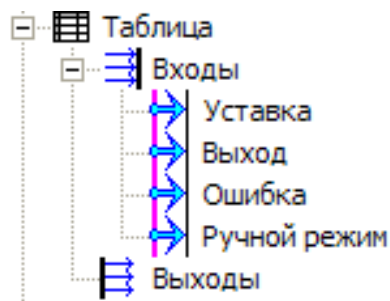


Рисунок 39 – Таблица

#### 4.3.10 Создание графических примитивов

Для того чтобы создать графические примитивы на мнемосхеме, будь то статический текст или графические элементы (различные прямоугольники, эллипсы, линии), необходимо открыть вкладку «Палитра», расположенную в правом нижнем углу редактора мнемосхем, затем выбрать ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИМИТИВЫ/ТЕКСТ или ПРЯМОУГОЛЬНИК и щелкнуть по свободному месту на мнемосхеме. В СВОЙСТВАХ объекта можно изменить надпись, шрифт текста, цвет, заливку, вид и многое другое.

#### 4.3.11 Создание главной мнемосхемы, переходов между мнемосхемами и осуществление закрытия мнемосхемы

После создания всех мнемосхем создаем главную мнемосхему, на которой будут представлены все мнемосхемы. Особенность её будет заключаться в наличии кнопок с переходами на другие мнемосхему, для этого необходимо просто перейти на мнемосхему и перенести туда все объекты. Они сразу определяются как кнопочки со сжатым изображением мнемосхем этих объектов. Вид кнопочки можно изменить, нажав ПК мышью, в свойствах можно добавить надпись, изменить цвет, шрифт,

ширину рамки, а главное есть возможность изменить вид кнопки на изображение «Дальше», «Назад». Для этого необходимо перенести курсор со «Сжатого изображения» на просто «Изображение» и из контекстного меню выбрать директорию нахождения изображения, которое должно стать лицевым на кнопочках. Кроме того, необходимо изменить курсор с «Исходного размера» на «Растягивать» для корректировки размера кнопочек. Именно так создаются кнопки переходов на всех мнемосхемах.

Также на главной мнемосхеме должна присутствовать кнопочка, осуществляющая закрытие мнемосхем для этого в данном объекте создается, при помощи ПК мыши ВСТАВИТЬ, событие и команда, позволяющие осуществить закрытие мнемосхемы.

Произведя все выше описанные процедуры, получаем программу визуализации процесса контроля, регулирования и сигнализации. Но программа будет готова к запуску лишь, после того как, вернувшись на свойства «Объекта 1», зайдём на вкладку «Окна» и поставим галочку напротив «Стартовая мнемосхема».

## **5 НАЗНАЧЕНИЕ OPC – СЕРВЕРА И ЕГО НАСТРОЙКА**

OPC – сервер для контроллеров предназначен для обмена данными между технологической программой пользователя контроллера КРОСС-500 и SCADA-системами через интерфейс, определяемый спецификацией OPC Data Access 2.0.

Настройка OPC производится путем редактирования файла `crossopc.ini`, расположенного в каталоге установки OPC – сервера. Это текстовый файл в стиле стандартных ini-файлов Windows, расположенный в следующей директории: `C:\Program files\ OPC Server\CROSSOPC`. Пример конфигурационного файла представлен на рисунке 40.

```
CROSSOPC.INI - Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка

пример конфигурационного файла OPC-сервера
строка начинающаяся с '#' - комментарий
[server]
частота обновления OPC групп, ms
scanrate=100
некоторые патчи специально для сайтека
citect=0
уровень детализации лога 0 - не записывать ничего, 4 записывать все сообщения
loglevel=1
[connections]
connection1=udp,195.208.176.30,5066
[targets]
isa=connection1,1,"C:\ISAWIN\APL\IVANISA\appli.tst"
```

Рисунок 40 – Пример конфигурационного файла OPC - сервера

Каждая строка содержит либо комментарий, начинающийся с символов «#» или «;» (точка с запятой), либо заголовок секции, либо набор параметров секции. Имена параметров к регистру нечувствительны. Описание секций:

1. Секция [SERVER] может содержать следующие параметры:

- ✓ LOGFILE = <file >. Указывает имя файла для записи протокола работы сервера. Имя файла необходимо указывать в кавычках.
- ✓ LOGLEVEL = <level> Число от 0 до 3, показывающее, какие сообщения будут выводиться в лог. Допустимы следующие значения.
  - 0 – не выводить сообщения совсем,
  - 1 – только ошибки,
  - 2 – ошибки и предупреждения,
  - 3 – ошибки, предупреждения и диагностические сообщения.
- ✓ SCANRATE = <rate> Целое число, показывающее период опроса контроллера в миллисекундах.

- ✓ CИТЕСТ= <0/1> Если используется SCADA-система Citect, то этот параметр необходимо установить в 1. Этот ключ заставляет OPC сервер принудительно устанавливать для данных, передаваемых в Citect OPC\_QUALITY\_GOOD, потому что OPC-драйвер Citect работает следующим образом: при поступлении хотя бы одного элемента с OPC\_QUALITY\_BAD остальные элементы тоже рассматриваются как содержащие недостоверные данные.

2. Секция [CONNECTIONS] содержит определения логических подключений. Формат:

- ✓ <connection\_name>=SERIAL,<port>,<speed> для подключения через последовательный порт
- ✓ <connection\_name>=UDP,<ip\_address>,<ip\_port> для подключения через TCP/IP

Параметры:

- < connection\_name > - имя подключения;
- < port > - имя последовательного порта, например COM4;
- < speed > - скорость порта в бодах;
- < ip\_address > - ip – адрес контроллера или dns имя;
- < ip\_port > - ip – порт ( по умолчанию 5066).

3. Секция [TARGETS] содержит определения задач (targets). Под задачей подразумевается исполнительная система ISaGRAF, выполняемая на контроллере. Формат:

- ✓ <target\_name>=<connection\_name>,<logical\_num>,"<имя конфигурационного файла>"

Параметры:

- <target\_name> - имя целевой задачи;

- <connection\_name> - имя подключения, определенное в секции [connections];
- <logical\_num > - логический номер задачи, обычно 1;
- <имя конфигурационного файла> - путь к файлу, который содержит определения переменных целевой задачи ISaGRAF.

В данном случае, путь к программе PID\_ST описывается как t1=connection, 1, “C:\isawin\APL\PID\_ST\ appli.tst”.

Необходимо запустить OPC сервер C:\Program Files\КРОСС\OPC\crossopc.exe для привязки OPC – переменных.

## **6 ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ**

В данном примере в качестве языка программирования используется технологический язык ST. Существует несколько вариантов по структуре программного обеспечения. Первый вариант предполагает разработку программы на языке ST, обеспечивающей ввод и вывод сигналов, а также регулирование и сигнализацию. Пример такой программы приведен в приложениях 3, 4. Второй вариант предполагает разработку двух программ, одна из которых обеспечивает ввод и вывод сигналов, а вторая – регулирование и сигнализацию. Причем, допускается разработка программы ввода- вывода сигналов на языке FBD. в данном примере созданный проект PID\_ST содержит в себе две программы: IN\_OUT, составленной на языке FBD, и PIDREG, составленной на языке ST. Программу IN\_OUT используется для ввода-вывода аналоговых сигналов с АВК-6, а в программе PIDREG обеспечивает регулирование и сигнализацию.

Сначала представляем таблицу 8 переменных, которые были объявлены в словаре, с полным описанием: тип данных, атрибут, формат,

начальное значение и комментарий, определяющие роль той или иной переменной в нашей программе.

Таблица 8 – Описание переменных

| Имя переменной | Тип данных | Атрибуты/ Тип | Формат | Начальное значение                                   | Комментарии                                                              |
|----------------|------------|---------------|--------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| phys1          | Булевские  | константа     |        | false                                                | признак необходимости преобразования ФБ craio                            |
| Co             |            | внутренняя    |        | false                                                | обнуление - вход ФБ dif                                                  |
| Czb            |            | константа     |        | false                                                | сигнал запрета «Больше» - вход ФБ integr                                 |
| Czm            |            | константа     |        | false                                                | сигнал запрета «Меньше» - вход ФБ integr                                 |
| Cbeg           |            | константа     |        | false                                                | команда установки начальных условий - вход ФБ integr                     |
| migMAX         |            | внутренняя    |        | false                                                | выход ФБ blink для достоверности данных – верхней предел                 |
| migMIN         |            | внутренняя    |        | false                                                | выход ФБ blink для достоверности данных – нижней предел                  |
| ogrMAX         |            | внутренняя    |        | false                                                | режим работы ФБ blink для достоверности данных – верхней предел          |
| ogrMIN         |            | внутренняя    |        | false                                                | режим работы ФБ blink для достоверности данных – нижний предел           |
| runMAX         |            | внутренняя    |        | false                                                | режим работы ФБ blink для мигания формы сигнализации по верхнему пределу |
| runMIN         | внутренняя |               | false  | режим работы ФБ blink для мигания формы сигнализации |                                                                          |

|        |                        |            |           |       |                                                                   |
|--------|------------------------|------------|-----------|-------|-------------------------------------------------------------------|
|        |                        |            |           |       | по нижнему пределу                                                |
| sigMAX |                        | внутренняя |           | false | выход ФБ blink для мигания формы сигнализации по верхнему пределу |
| sigMIN |                        | внутренняя |           | false | выход ФБ blink для мигания формы сигнализации по нижнему пределу  |
| adr    | Целые - действительные | константа  | целая     | 230   | адрес модуля ФБ craio                                             |
| Xin    |                        | внутренняя | веществ . | 0     | выход                                                             |
| Yout   |                        | внутренняя | веществ . | 0     | управляющее воздействие                                           |
| e      |                        | внутренняя | веществ . | 0     | ошибка регулирования                                              |
| Xzdn   |                        | внутренняя | веществ . | 20    | задание                                                           |
| Td     |                        | внутренняя | веществ . | 0     | Постоянная времени дифференцирования - вход ФБ dif                |
| km     |                        | константа  | веществ . | 1     | коэффициент усиления - вход ФБ dif                                |
| Xmax   |                        | константа  | веществ . | 5000  | уровень ограничения по максимуму - вход ФБ integr                 |
| Xmin   |                        | константа  | веществ . | -5000 | уровень ограничения по минимуму - вход ФБ integr                  |
| Xbeg   |                        | константа  | веществ . | 0     | значение начальных условий - вход ФБ integr                       |
| Xpor   |                        | константа  | веществ . | 1000  | установка порогового элемента - вход ФБ integr                    |
| Ti     |                        | внутренняя | веществ . | 0,05  | постоянная времени интегрирования - вход ФБ integr                |
| Ydif   |                        | внутренняя | веществ . | 0     | выход ФБ dif                                                      |
| Yint   |                        | внутренняя | веществ . | 0     | выход ФБ integr                                                   |

|                                                                      |                      |                                          |           |      |                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|-----------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кр                                                                   |                      | внутренняя                               | веществ . | 0,5  | постоянная времени пропорциональности                                                                              |
| INPUT                                                                |                      | внутренняя                               | веществ . | 0    | вход ФБ craio                                                                                                      |
| imp_real                                                             |                      | внутренняя                               | веществ . | 0    | выход ФБ real                                                                                                      |
| INPUTmax                                                             |                      | внутренняя                               | веществ . | 50   | верхний предел сигнализации                                                                                        |
| INPUTmin                                                             |                      | внутренняя                               | веществ . | 0    | нижний предел сигнализации                                                                                         |
| X1max                                                                |                      | внутренняя                               | веществ . | 100  | верхний предел достоверности данных                                                                                |
| X1min                                                                |                      | внутренняя                               | веществ . | 0    | нижний предел достоверности данных                                                                                 |
| tm3                                                                  | Таймеры              | внутренняя                               |           | t#3s | период мигания ФБ blink для сигнализации верхн. предела                                                            |
| tm4                                                                  |                      | внутренняя                               |           | t#3s | период мигания ФБ blink для сигнализации нижнего предела                                                           |
| tm5                                                                  |                      | внутренняя                               |           | t#3s | период мигания ФБ blink при недостоверности данных – верхней предел                                                |
| tm6                                                                  |                      | внутренняя                               |           | t#3s | период мигания blink при недостоверности данных – нижний предел                                                    |
| differ<br>integrir<br>ogranMAX<br>ogranMIN<br>signalMAX<br>signalMIN | ФВ<br>экземп<br>ляры | dif<br>integr<br>blink<br>blink<br>blink |           |      | Вызов ФБ для реализации уравнения ПИД – регулятора, осуществления сигнализации и проверки на достоверность данных. |
| signalMIN                                                            |                      | blink                                    |           |      |                                                                                                                    |

Программа IN\_OUT, используемая для ввода-вывода аналоговых сигналов с АВК-6, представлена на рисунке 41.



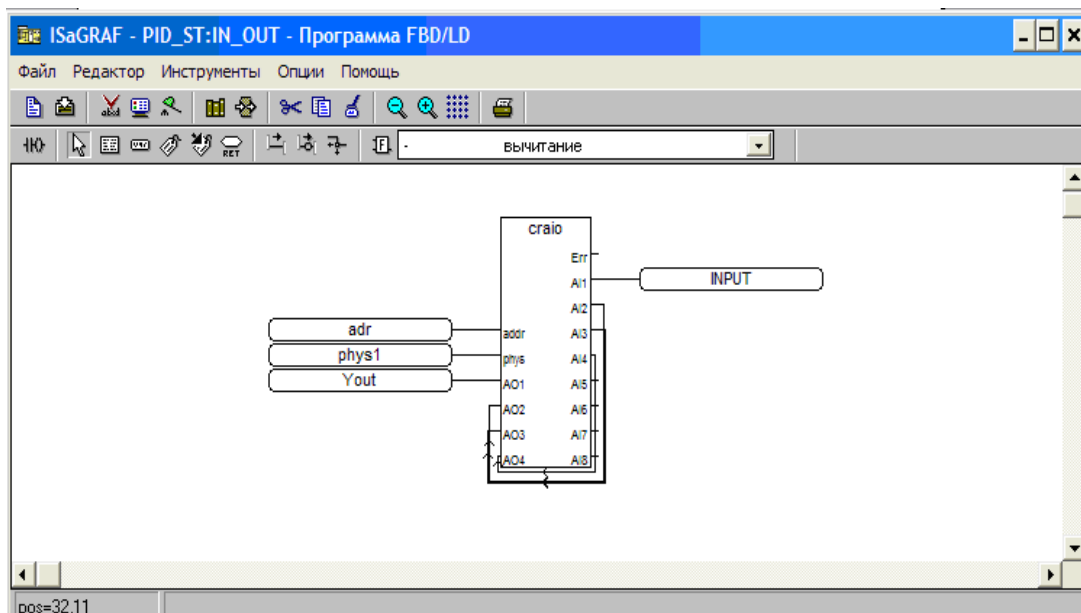


Рисунок 41 – Окно программы IN\_OUT

Программа PIDREG описывает программа регулирования и сигнализации. В данной программе согласно варианту необходимо описать уравнение ПИД - регулятора, осуществить сигнализацию по верхнему и нижнему предельным значениям, мигание формы при выходе параметра за установленные пределы, а также осуществить проверку на достоверность данных. Реализуется это при помощи вызова функциональных блоков и использовании цикла для введения ограничений по максимуму и минимуму.

Осуществляем вызов следующих функциональных блоков:

- ✓ blink – для осуществления мигания формы при выходе параметра за установленные пределы;
- ✓ dif – для ввода дифференциальной составляющей ПИД – регулятора;
- ✓ integr – для ввода интегральной составляющей ПИД – регулятора.

Следуя методики программирования, описанной выше, получаем следующую программу:

*(\*Описание уравнения ПИД - регулятора\*)*

```

Xin:=INPUT; - присвоение текущего значение новой переменной;
(*Ошибка регулирования определяется как разность между
заданным и текущим
значениями сигнала *)
e:= Xzdn - Xin;
(*Вызов ФБ dif для ввода дифференциальной составляющей ПИД –
регулятора*)
differ(e, km, Td, Co);
Ydif:=differ.Y;
(*Вызов ФБ integr для ввода интегральной составляющей ПИД –
регулятора *)
integrir(e, Ti, Cbeg, Xbeg, Xmax, Xmin, Xpor, Czb, Czm);
Yint:=integrir.Y;
(*Уравнение ПИД-регулятора*)
Yout:=Kp*(e+Yint+Ydif);

(*Ограничение по максимуму*)
if (Xin>INPUTmax) then – условие ограничения по максимуму;
Xin:=INPUTmax; - действие, на которое накладывается условие;
runMAX:=true; - привязка к переменной, которая будет
использоваться в MasterScada;
else runMAX:=false; - обратное действие;
end_if; - конец цикла;
(*Ограничение по минимуму*)
if (Xin<INPUTmin) then – условие ограничения по минимуму;
Xin:=INPUTmin; - действие, на которое накладывается условие;
runMIN:=true; ; - привязка к переменной, которая будет
использоваться в MasterScada;
else runMIN:=false; - обратное действие;
end_if; - конец цикла;

(*Вызов ФБ blink для реализации мигания формы при выходе
параметра за верхний предел*)
signalMAX(runMAX,tm3);
sigMAX:=signalMAX.Q;
(*Вызов ФБ blink для реализации мигания формы при выходе
параметра за нижний предел*)
signalMIN(runMIN,tm4);
sigMIN:=signalMIN.Q;

(*Введение проверки на достоверность данных*)
(*Ограничение по максимуму*)
if (INPUT>X1max) then

```

```

INPUT:=X1max;
ogrMAX:=true;
else ogrMAX:=false;
end_if;
(*Ограничение по минимуму*)
if (INPUT<X1min) then
INPUT:=X1min;
ogrMIN:=true;
else ogrMIN:=false;
end_if;

```

```

(*Вызов ФБ blink для реализации мигания формы при
недостоверности данных –
при выходе за верхний предел*)
ogranMAX(ogrMAX,tm5);
migMAX:=ogranMAX.Q;
(*Вызов ФБ blink для реализации мигания формы при
недостоверности данных –
при выходе за нижний предел*)
ogranMIN(ogrMIN,tm6);
migMIN:=ogranMIN.Q.

```

Программа PIDREG, общий вид которой представлен на рисунке 42, позволяет вести регулирование аналоговым сигналом, снятым с АВК-6, по ПИД-закону, ограничивает входной сигнал на максимум и минимум, осуществляет мигание формы при выходе параметра за установленные пределы, а также осуществляет проверку на достоверность данных.

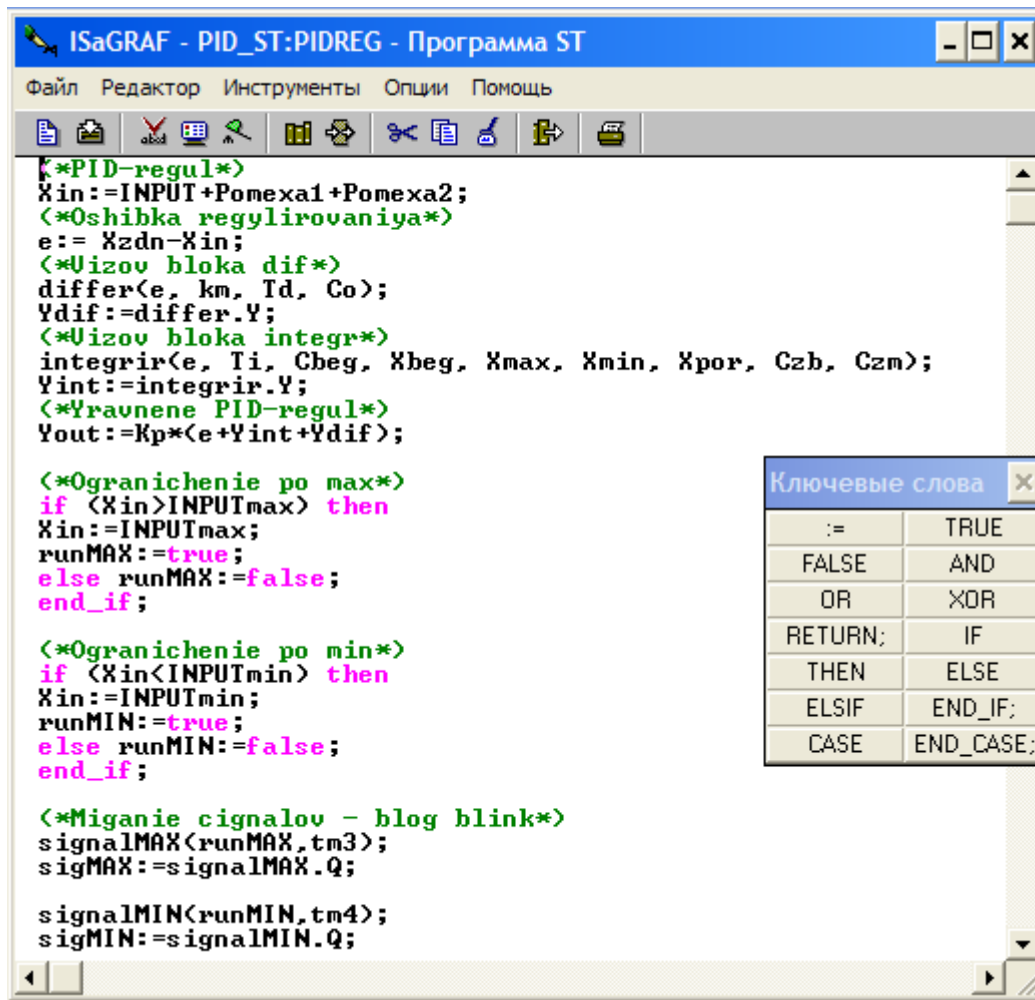


Рисунок 42 – Общий вид программа PIDREG

## 7 ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

Программа визуализации процессов контроля, регулирования и сигнализации выполнена в пакете MasterScada.

Программа визуализации создана при помощи различных функциональных элементов данного пакета, среди которых имеется возможность создания трендов, кнопок, цветовых индикаторов, команд, графических элементов, представлена на рисунке 43:

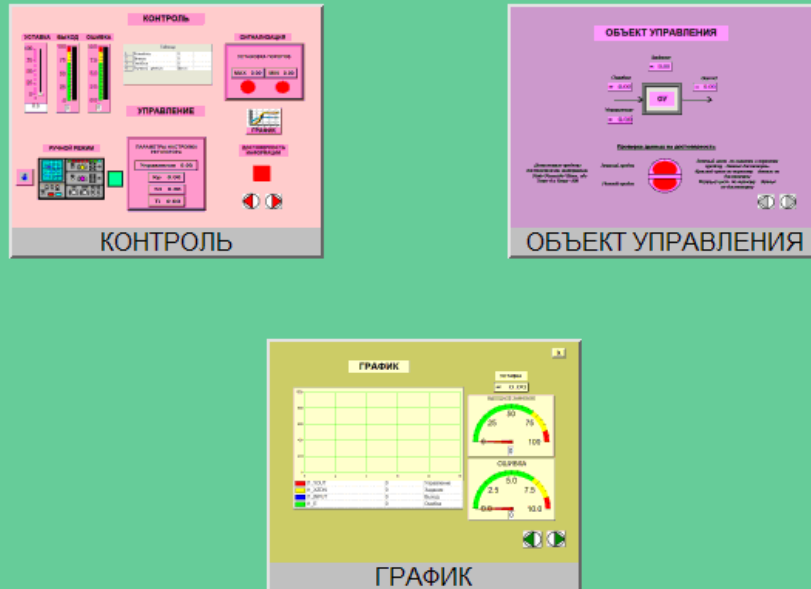
**ПИД - РЕГУЛЯТОР**

Рисунок 43 – Внешний вид главной мнемосхемы программы визуализации

Данная программа содержит несколько мнемосхем, первая из которых мнемосхема КОНТРОЛЬ, представлена на рисунке 44 и обеспечивает контроль и управление процессом регулирования и сигнализации. Дерево объекта, представленное на рисунке 45, позволяет подробнее ознакомиться с разработанной мнемосхемой.

На данной мнемосхеме возможно изменение задания (уставки) в виде задатчика, установка верхнего и нижнего порогов сигнализации (команды max и min). На данной мнемосхеме осуществляется выбор ручного режима, при котором возможно вручную подбирать параметры настройки, при этом, изменяя управление, которое также отражается на мнемосхеме в цифровой форме. Реализован ручной режим при помощи анимационного регулятора (мультфильм), кнопки, запускающей ручной

режим и индикатора мнемонического, сигнализирующего о запуске ручного режима.

Также мнемосхема дает информацию о выходном значении и о значении ошибки, как в цифровом виде в таблице, так и в виде индикаторов значения. Присутствует на мнемосхеме сигнализация о нарушении достоверности данных, которая реализована таким же образом, как и сигнализация по верхнему и нижнему пределу, при срабатывании мигающей цветовой сигнализации необходимо сразу же проверить выходное значение, а также пороги, проверяющие данные на достоверность. Также в случае необходимости эта мнемосхема снабжена переходом на мнемосхему ГРАФИК, по соответствующей кнопке, где можно проанализировать все величины в графической форме.

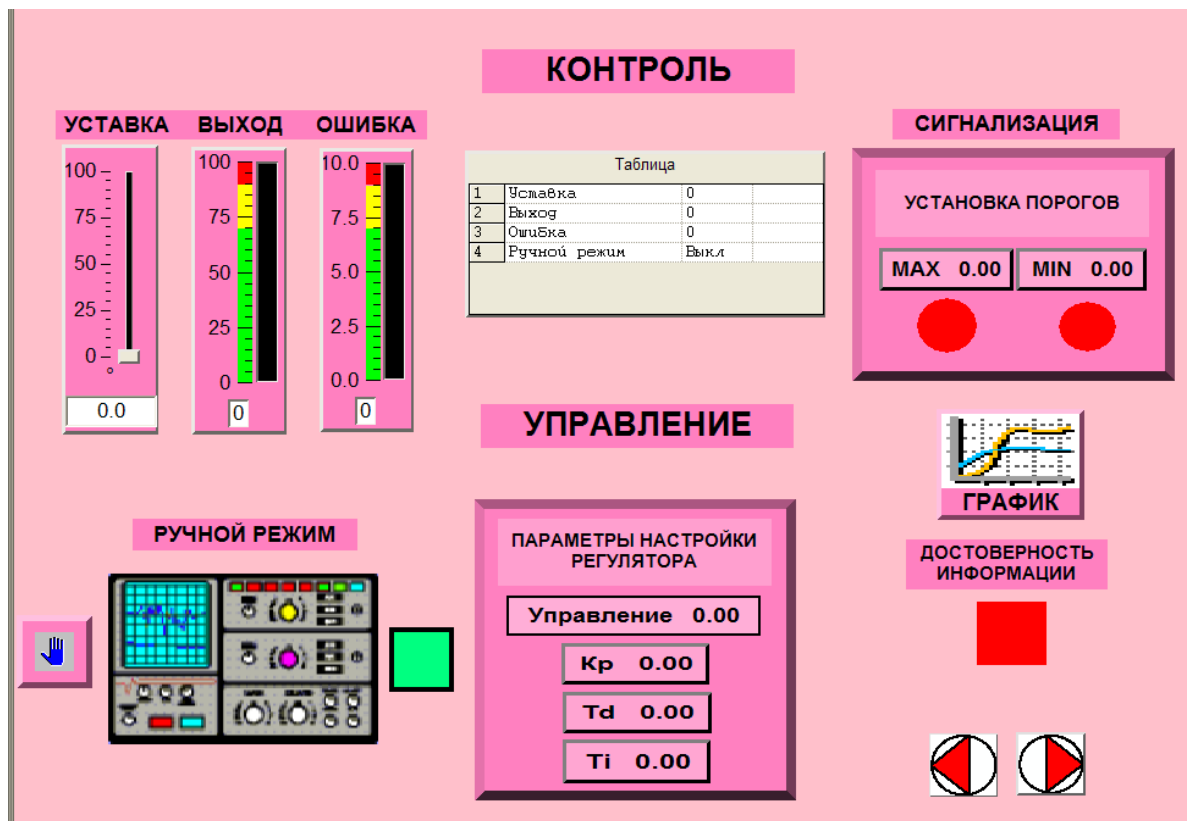


Рисунок 44 – Внешний вид мнемосхемы КОНТРОЛЬ

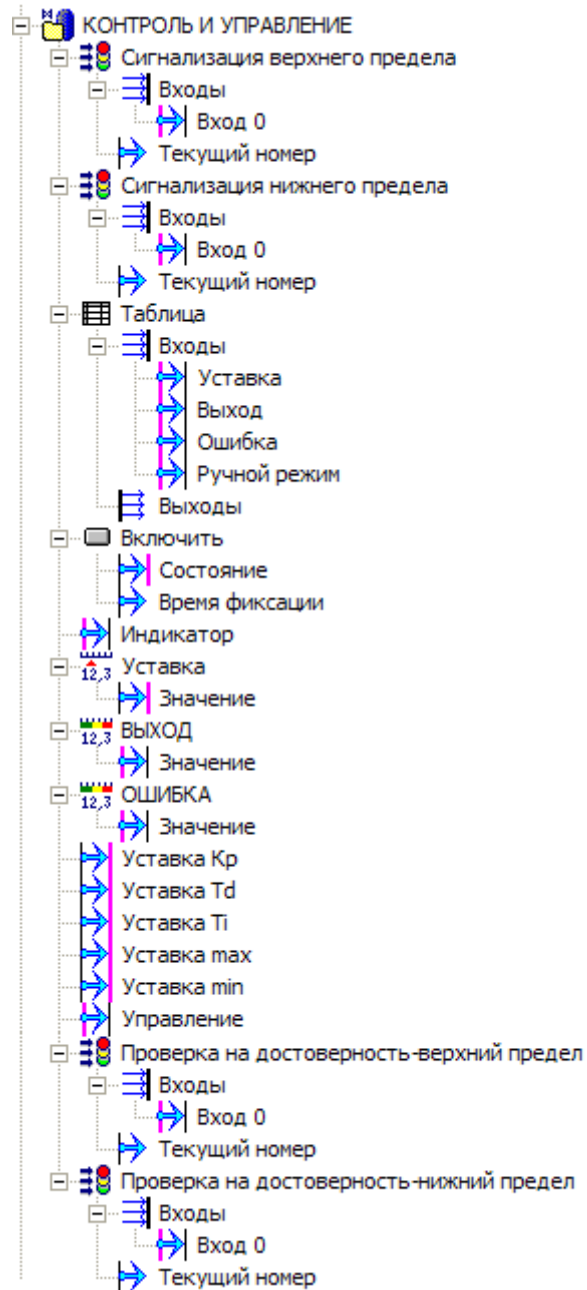


Рисунок 45 – Дерево объекта «КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ»

Следующая мнемосхема носит название - ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, она представлена на рисунке 46, дерево объекта данной мнемосхемы представлено на рисунке 47.

Поскольку конкретного объекта управления задано не было, визуализация заключалась в создании графической интерпретации объекта управления (прямоугольник с кантом) с входными и выходными значения, а также значением ошибки и управляющего воздействия

(значения непосредственно с дерева системы). Также на данной мнемосхеме приведена информация о первичной обработке данных, а именно проверка данных на достоверность, при нарушении которой срабатывает мигающая цветовая сигнализация. Приведена полная информация о порогах, проверяющие данные на достоверность, а также о цветовой сигнализации. Реализация вышеперечисленных элементов визуализации сопровождается созданием разнообразных графических примитив (статического текста, эллипсов, линий).



Рисунок 46 – Внешний вид мнемосхемы ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

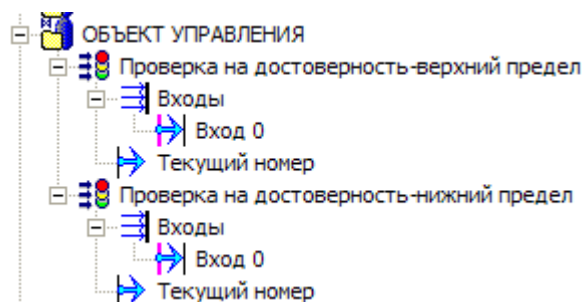


Рисунок 47 – Дерево объекта «ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ»



Последняя мнемосхема – ГРАФИК проиллюстрирована на рисунке 48. Дерево объекта данной мнемосхемы представлено на рисунке 49.

Данная мнемосхема представляет собой график с четырьмя выходными величинами: управление, задание, выход и ошибка. Также здесь можно увидеть уставку в цифровой форме (значение переменной), а также выходное значение и ошибку в виде стрелочных приборов.

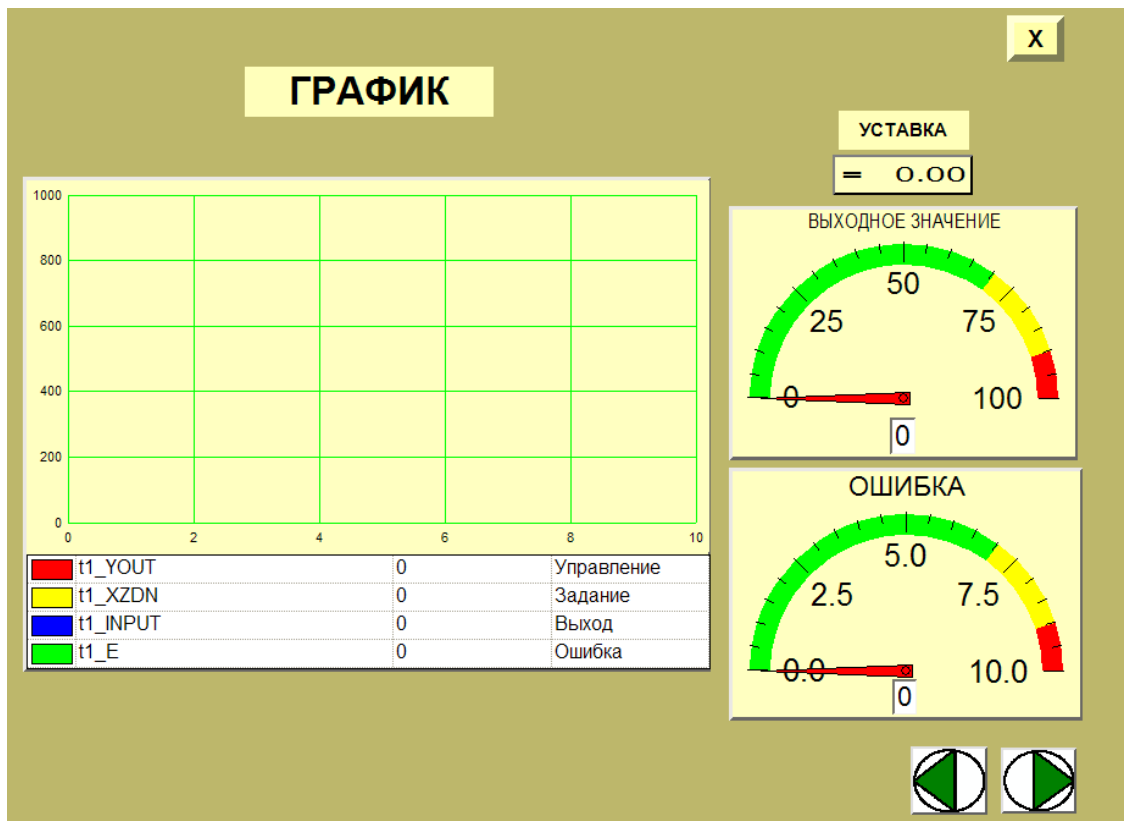


Рисунок 47 – Внешний вид мнемосхемы ГРАФИК

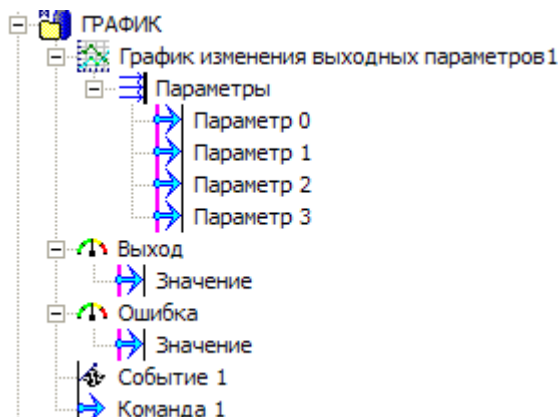


Рисунок 48 – Дерево объекта «ГРАФИК»

Переход с главной мнемосхемы осуществляется по кнопочкам с названием мнемосхем, а переходы между мнемосхемами осуществляются посредством кнопочек ДАЛЕЕ и НАЗАД. Лишь при переходе с мнемосхемы КОНТРОЛЬ на ГРАФИК, для просмотра графика, необходимо закрыть мнемосхему, нажав на крестик вверху мнемосхемы, так как переход по кнопочках ДАЛЕЕ и НАЗАД осуществляться не будет. Закрытие мнемосхем возможно при помощи кнопочки ЗАКРЫТЬ МНЕМОСХЕМУ на главной мнемосхеме.

## **8 ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ ПРОГРАММ**

После того как все программы созданы, необходимо осуществить проверку на работоспособность разработанных программ. Проверка проводилась на лабораторном стенде, структурная схема которого представлена на рисунке 49.

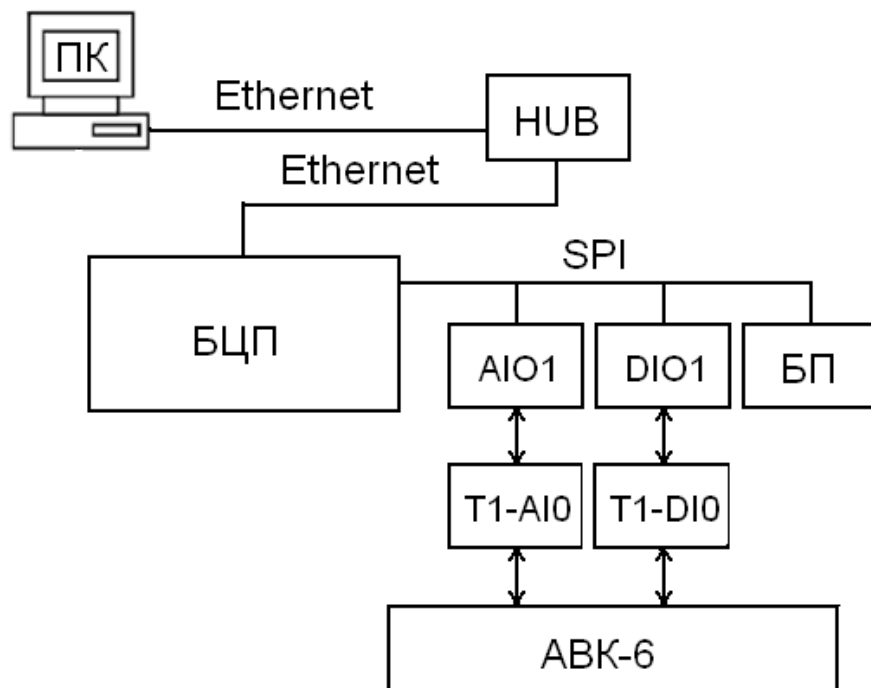


Рисунок 49 – Структурная схема лабораторного стенда

На рисунке введены следующие обозначения:

БЦП – блок центрального процессора контроллера Кросс – 500.

SPI – внутрисистемный интерфейс.

AIO1 – модуль аналогового ввода/вывода контроллера Кросс – 500.

DIO1 – модуль дискретного ввода/вывода контроллера Кросс – 500.

T1AIO, T1DIO – терминальные блоки модулей ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов контроллера Кросс – 500.

БП – блок питания.

АВК – 6 – аналого-вычислительный комплекс.

ПК – персональный компьютер.




HUB – концентратор сети Ethernet.

Методика проверки на лабораторном стенде заключается в реализации системы регулирования, выполненной на базе контроллера Кросс – 500, модели объекта управления, набранной на аналого-вычислительном комплексе АВК – 6 с применением разработанной программы визуализации. Объектом является последовательное

соединение двух апериодических звеньев. Звенья реализованы на базе интеграторов, охваченных обратной связью. Коэффициенты обратной связи равны  $K_{oc} = -1$ , коэффициенты усиления:  $K = 1$ .

Проверка осуществляется в два этапа. На первом этапе проверяется работоспособность программа контроллера, а на втором этапе осуществляется комплексная проверка, в которой участвуют программы контроллера и программы визуализации.

Последовательность проверки:

1. Первый шаг – загрузка программы регулирования и сигнализации, созданную в программном пакете ISaGRAF в контроллер. Для этого как уже описывалось выше необходимо открыть пакет и запустить отладчик с помощью ФАЙЛ/ОТЛАДКА или кнопкой  на панели управления, при этом на экране появится окно отладчика. Если в БЦП уже загружено какое-то приложение, перед загрузкой нового необходимо командой ФАЙЛ→ОСТАНОВИТЬ ПРИЛОЖЕНИЕ или кнопкой  остановить его. Загрузка готового приложения осуществляется командой ФАЙЛ→ЗАГРУЗИТЬ или . Внешний вид загруженной программы в отладчике представлен на рисунке 50.

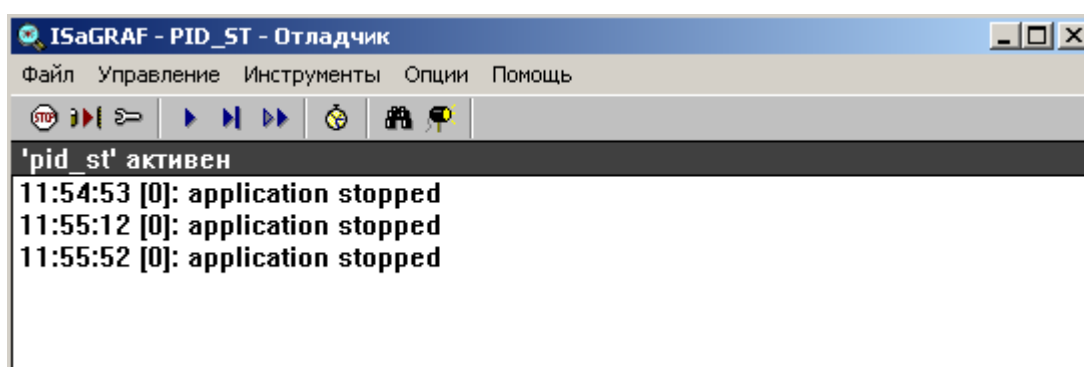


Рисунок 50 – Внешний вид загруженной программы PID\_ST в отладчике

Первоначально проверяется соответствие установленного в программе номера модуля ввода/вывода аналоговых сигналов (значение  $adr$ ) номеру модуля заданного преподавателем.

Устанавливается значение задания в диапазоне от 20 до 60, устанавливаются параметры регулятора. Диапазон изменения коэффициента пропорциональности: 0.45 – 0.55, диапазон постоянной времени интегрирования: 0.045 – 0.0555, постоянная времени дифференцирования равна нулю. Если значение выхода объекта близко к величине задания, то программа является работоспособной. Если задание не обрабатывается, то ошибка может заключаться в самой программе, либо в неправильной настройке регулятора.

При проверки работоспособности можно обратиться к словарю. Если программа работоспособна, то значения переменных, соответствующих заданию и выхода объекта управления в словаре программы будет близки друг другу. Например, как показано на рисунке 5,1 значение  $Xzdn$  равно значению INPUT.

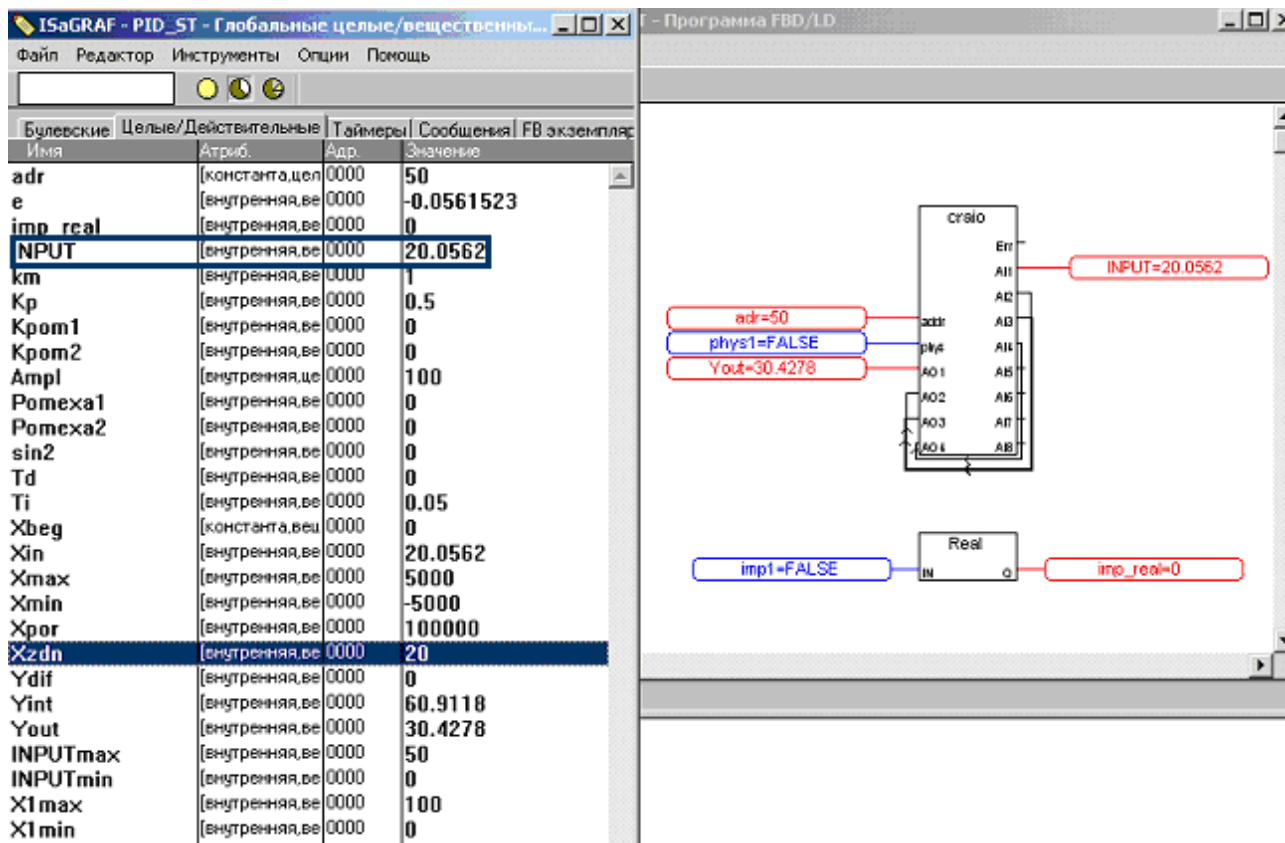



Рисунок 51 – Внешний вид работающей программы регулирования PID\_ST

- Второй шаг – проверка настройки и запуск OPC сервера, который находится по адресу C:\Program Files\KPOCC\OPC\crossopc.exe и запускается для привязки OPC – переменных. посредством OPC осуществляется взаимосвязь технологической программы пользователя контроллера Кросс-500, на базе которого осуществляется регулирование и программного пакета MasterScada, на базе которого осуществляется программа визуализации процессов регулирования и сигнализации. Свидетельством запущенного OPC – сервера является иконка «OPC» в системном трее (рисунок 52).



Рисунок 52 – OPC – сервер в работе

3. Последний этап – загрузка программы визуализации процессов контроля, регулирования и сигнализации, созданной в пакете MasterScada. Для этого как уже описывалось выше необходимо открыть программный пакет, загрузить свой проект и запустить его, нажав на соответствующую кнопочку на панели управления . Появится окно, изображенное на рисунке 53. В поле «Имя» введите «sa» и нажмите ОК.

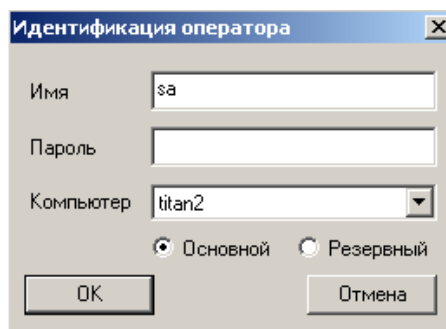


Рисунок 53 – Окно идентификации оператора

Изменяя с помощью кнопок мнемосхемы значение уставки, параметров настройки регулятора, параметров сигнализации, а, также изменяя пороги, проверяющие данные на достоверность убедитесь в работоспособности используемой программы визуализации. В данной программе визуализация осуществляется с помощью столбиковых индикаторов, а параметры регулятора отображаются с помощью цифровых значений и изображение мнемосхемы КОНТРОЛЬ имеет вид, представленный на рисунке 54.

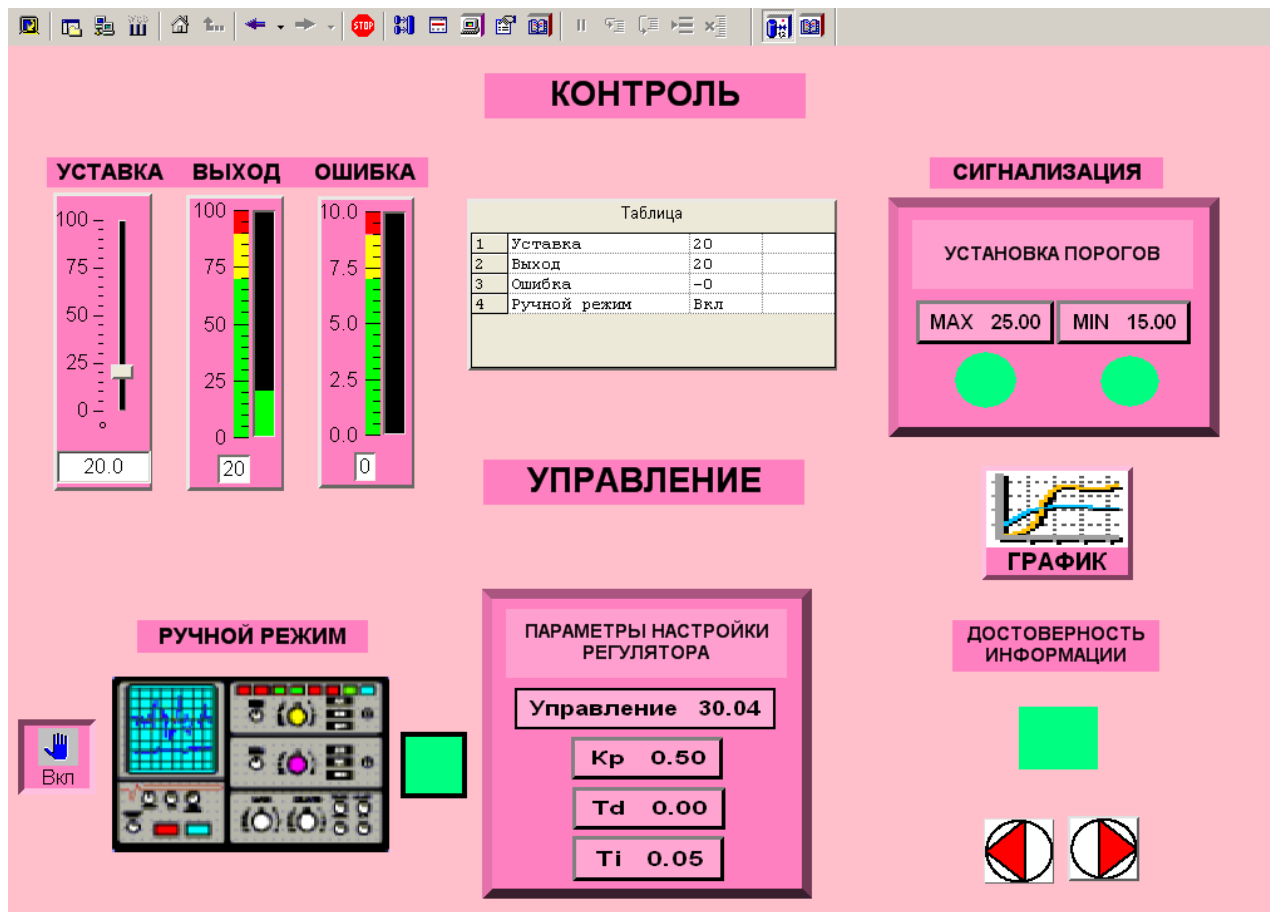


Рисунок 54 – Внешний вид работающей программы визуализации  
REG

Проверка переходов от одной мнемосхемы к другой осуществлялась следующим образом: нажимая на кнопку ДАЛЕЕ, программа переходит на следующую мнемосхему ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, которая имеет вид, представленный на рисунке 55.





Рисунок 55 – Мнемосхема ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Нажимая на кнопку НАЗАД, программа переходит на предыдущую мнемосхему, которая является главной, вид которой представлен на рисунке 56.

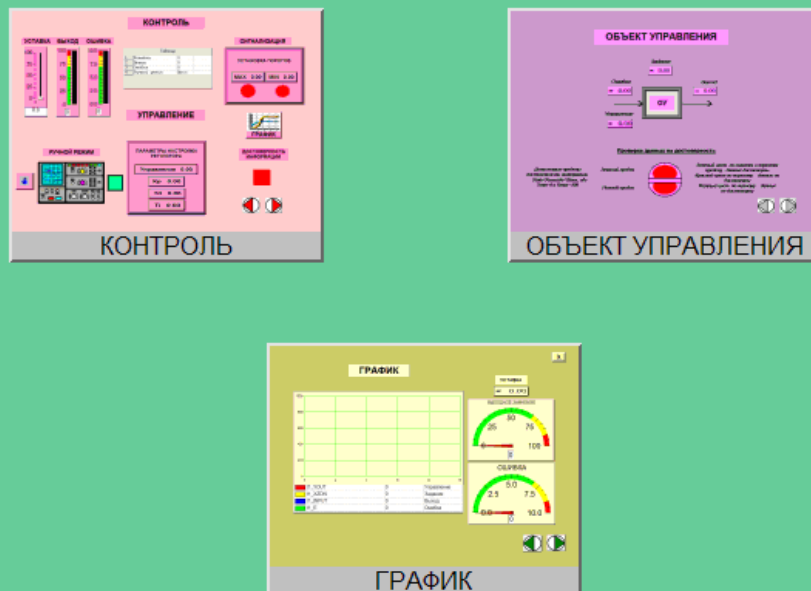
**ПИД - РЕГУЛЯТОР**

Рисунок 56 – Главная мнемосхема

Если информация не достоверна или не соответствует порогам сигнализации, установленным оператором, то мнемосхема выглядит согласно рисунку 57. Индикаторы, отвечающие за сигнализацию и недостоверность данных, осуществляют цветовую мигающую сигнализацию.

Исходя из выше описанного, можно сделать вывод, что все программы проверены на работоспособность как отдельно, так и в комплексе. Можно сделать вывод, созданные программы полностью верны и работоспособны.

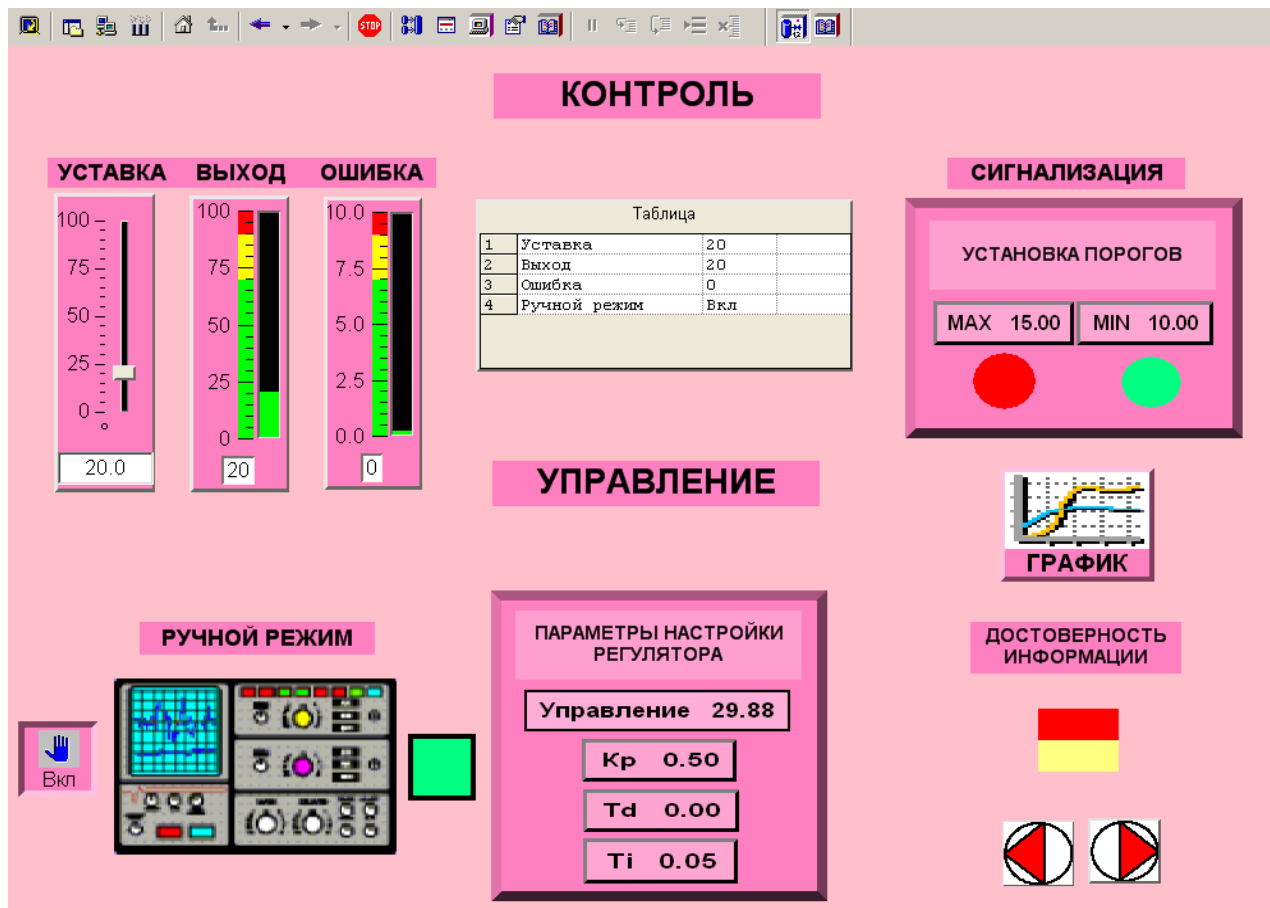


Рисунок 57– Внешний вид аварийной работы программы визуализации REG

Выполнение данного курсового проекта направлено на изучение промышленных микропроцессорных контроллеров КРОСС-500 и ТРАССА-500, типовых структур систем автоматизации, построенных на базе данных контроллеров. Изучение программного пакета ISaGRAF, ознакомление с методикой программирования на языках программирования промышленных контроллеров, определенных международным стандартом IEC 1131-3, а также реализацию собственной программы контроля, регулирования и сигнализации на языках структурированного текста и функциональных блоков. Данная работа также позволяет освоить OPC технологию построения АСУТП, изучить отечественный SCADA-пакет MasterScada, характеризующийся

развитыми функциональными возможностями и удобствами реализации функции динамизации.

Особенностью данного курсового проекта является то, что при его выполнении студенты получают не только теоретические знания, но и практические навыки создания программного обеспечения АСУ ТП и проверки его работоспособности на лабораторном стенде в режиме реального времени.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Контроллер для распределенных открытых систем КРОСС-500. Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421457.018 РЭ.
2. Контроллер для распределенных открытых систем ТРАССА-500. Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421458.018 РЭ.
3. Контроллеры КРОСС - 500, ТРАССА - 500, Р -130ISA. Руководство по эксплуатации. Часть 1. Система технологического программирования ISaGRAF. ЯЛБИ.420146.001 РЭ.
4. Документация на пакет MasterScada. – М.: InSAT, 2007. –382 с.
5. Громаков Е.И. Проектирование автоматизированных систем: учебно-методическое пособие.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.–168 с.
6. Технические средства систем автоматики и управления: учебное пособие / В.Н. Скороспешкин, М.В. Скороспешкин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 219 с.
7. Освоение КРОСС-500. Руководство по сборке и программированию контроллера КРОСС-500 - ОАО «ЗЭиМ», г. Чебоксары, 2006.-28 с
8. SCADA <http://www.masterscada.ru>
9. Казанцев А.А. Isagraf - <http://prodcs.ru>

10. Микропроцессорные контроллеры производства ОАО «АБС Автоматизация» <http://www.absholdings.biz/absnew/news/im/04-05-08/kabanenko.pdf>
11. ГОСТ 34.602–89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы / Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Информационная технология. – М.: 1991. С. 3–15.
12. ГОСТ 34.601–90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы, стадии создания / Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Информационная технология. – М., 1991.– С. 45.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Отделение Автоматизации и Робототехники  
Направление 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И  
ВИЗУАЛИЗАЦИИ АСУ ТП, РЕАЛИЗОВАННОЙ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА КРОСС-  
500

**Курсовой проект по дисциплине  
«Автоматизированные информационно-управляющие системы»**

**КП ФЮРА. 424280. 001 ПЗ.01**

Студент группы \_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) (И.О. Фамилия)

Руководитель работы \_\_\_\_\_  
(Должность) (Подпись, дата) (И.О. Фамилия)

Томск 20\*\* г.

## Приложение Б

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Отделение Автоматизации и  
Робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель  
ОАР \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)  
(подпись, дата)

### ЗАДАНИЕ

на выполнение курсового проекта

Студенту \_\_\_\_\_

1 Тема курсового проекта

\_\_\_\_\_ (утверждена \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_)

2 Срок сдачи студентом готовой работы \_\_\_\_\_

3 Исходные данные к работе \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4 Содержание текстового документа (перечень подлежащих  
разработке вопросов)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

5.1

---

5.2

---

5.3

---

5.4

---

5.5

---

5.6

---

6 Дата выдачи задания на выполнение курсового проекта

---

Руководитель \_\_\_\_\_ (И.О.Ф.)  
(подпись, дата)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (И.О.Ф.)  
(подпись, дата)



## Программа на языке ST

The screenshot shows a window titled "ISaGRAF - ISA\_KURSA:KURSA - Программа ST". The menu bar includes "Файл", "Редактор", "Инструменты", "Опции", and "Помощь". The toolbar contains icons for file operations, editing, and execution. The main text area displays the following ST code:

```

InOut(Address, phys1, Yout, Aii2, Aii3, Aii4);
Xin:= InOut.AI1;
Aii2:= InOut.AI2;
Aii3:= InOut.AI3;
Aii4:= InOut.AI4;

Error:=Ustavka-Xin;
Integrir (Error, Ti, Cbeg, Xbeg, Xmax, Xmin, Xpor, Czb, Czm);
Yi:=Integrir.Y;
Yout:=Kp*(Error+Yi);

IF (Xin>INmax) THEN RUNmax:= TRUE;
ELSE RUNmax:= FALSE;
END_IF;
SignalizMax(RUNmax, timer1);
BlinkMax:= SignalizMax.Q;

If (Xin>dostovermax) OR (Xin<dostovermin) THEN dostover1:= TRUE;
Else dostover1:= FALSE;
END_IF;

differ(can_I_diff, Xin, timer2);
Uizm:= differ.XOut;
IF (Uizm < zero) THEN Uizm:= -Uizm;
END_IF;

IF (Uizm > porog_izm) THEN dostover2:= TRUE;
ELSE dostover2:= FALSE;
END_IF;

```

Типы переменных

| Булевские         | Целые/Действительные | Таймеры | Сообщения                                    | FB экземпляры | Макроопределения |
|-------------------|----------------------|---------|----------------------------------------------|---------------|------------------|
| Имя               | Атриб.               | Адр.    | Комментарий                                  |               |                  |
| <b>BlinkMax</b>   | [внутренняя]         | 0000    | гориг-не гориг                               |               |                  |
| <b>phys1</b>      | [константа]          | 0000    | сигнал в процентах от диапазона              |               |                  |
| <b>Cbeg</b>       | [константа]          | 0000    | команда установки начальных условий          |               |                  |
| <b>Czb</b>        | [константа]          | 0000    | Сигнал запрета в направлении "Больше"        |               |                  |
| <b>Czm</b>        | [константа]          | 0000    | Сигнал запрета в направлении "Меньше"        |               |                  |
| <b>RUNmax</b>     | [внутренняя]         | 0000    | превышено или нет макс значение              |               |                  |
| <b>dostover2</b>  | [внутренняя]         | 0000    | достоверность по скорости изменения величины |               |                  |
| <b>can_l_diff</b> | [константа]          | 0000    | разрешение дифференцирования                 |               |                  |
| <b>dostover1</b>  | [внутренняя]         | 0000    | Достоверность по порогу                      |               |                  |

| Булевские          | Целые/Действительные      | Таймеры | Сообщения                        | FB экземпляры | Макроопределения |
|--------------------|---------------------------|---------|----------------------------------|---------------|------------------|
| Имя                | Атриб.                    | Адр.    | Комментарий                      |               |                  |
| <b>zero</b>        | [константа,вещественная]  | 0000    | ноль                             |               |                  |
| <b>porog_izm</b>   | [константа,вещественная]  | 0000    | порог изменения                  |               |                  |
| <b>Xin</b>         | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Вход от АВК                      |               |                  |
| <b>Yout</b>        | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Выход возд на АВК                |               |                  |
| <b>Address</b>     | [константа,целая]         | 0000    | Адрес контроллера                |               |                  |
| <b>Error</b>       | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Ошибка регулирования             |               |                  |
| <b>Ustavka</b>     | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Значение уставки                 |               |                  |
| <b>Ti</b>          | [внутренняя,вещественная] | 0000    | постоянная интегрирования        |               |                  |
| <b>Xbeg</b>        | [константа,вещественная]  | 0000    | значение начальных условий       |               |                  |
| <b>Xmax</b>        | [константа,вещественная]  | 0000    | Уровень ограничения по максимуму |               |                  |
| <b>Xmin</b>        | [константа,вещественная]  | 0000    | Уровень ограничения по минимуму  |               |                  |
| <b>Xpor</b>        | [константа,вещественная]  | 0000    | порог                            |               |                  |
| <b>Vizm</b>        | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Скорость изменения параметра     |               |                  |
| <b>Yi</b>          | [внутренняя,вещественная] | 0000    | выход интегратора                |               |                  |
| <b>Kp</b>          | [внутренняя,вещественная] | 0000    | коэф пропорциональности          |               |                  |
| <b>INmax</b>       | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Максимальное значение            |               |                  |
| <b>dostovermax</b> | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Макс знач вход сигнала с АВК     |               |                  |
| <b>dostovermin</b> | [внутренняя,вещественная] | 0000    | Мин знач вход сигнала с АВК      |               |                  |
| <b>Aii2</b>        | [внутренняя,вещественная] | 0000    | первый параметр                  |               |                  |
| <b>Aii3</b>        | [внутренняя,вещественная] | 0000    | 2й параметр                      |               |                  |
| <b>Aii4</b>        | [внутренняя,вещественная] | 0000    | 3й параметр                      |               |                  |

| Булевские     | Целые/Действительные | Таймеры | Сообщения   | FB экземпляры | Макроопределения |
|---------------|----------------------|---------|-------------|---------------|------------------|
| Имя           | Атриб.               | Адр.    | Комментарий |               |                  |
| <b>timer2</b> | [внутренняя]         | 0000    |             |               |                  |
| <b>timer1</b> | [внутренняя]         | 0000    |             |               |                  |

| Булевские          | Целые/Действительные | Таймеры | Сообщения | FB экземпляры                           | Макроопределения |
|--------------------|----------------------|---------|-----------|-----------------------------------------|------------------|
| Имя                | Значение             |         |           | Комментарий                             |                  |
| <b>SignalizMax</b> | <b>blink</b>         |         |           | сигнализация при выходе за пределы      |                  |
| <b>differ</b>      | <b>derivate</b>      |         |           | производная                             |                  |
| <b>dostovern1</b>  | <b>blink</b>         |         |           | сигнал за порогом                       |                  |
| <b>dostovern2</b>  | <b>blink</b>         |         |           | высокая скорость изменения сигнала      |                  |
| <b>InOut</b>       | <b>craio</b>         |         |           | Ввод-вывод анал сигн с модуля УСО КРОСС |                  |
| <b>Integrir</b>    | <b>integr</b>        |         |           | Блок интегрирования                     |                  |

Учебное издание

СКОРОСПЕШКИН Владимир Николаевич  
СКОРОСПЕШКИН Максим Владимирович

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие

Подписано к печати xx.xx.xxxx. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл.печ.л. \_\_, \_\_. Уч.-изд.л. \_\_, \_\_.

Заказ . Тираж \_\_ экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

# Конспект лекций

## «Операционные системы и базы данных»

### 1. Понятие операционной системы.

**Операционная система** — комплекс программ, обеспечивающий управление аппаратными средствами компьютера, организующий работу с файлами и выполнение прикладных программ, осуществляющий ввод и вывод данных.

Функции операционных систем персональных компьютеров.



### 2. Обеспечение интерфейса пользователя

**Обеспечение интерфейса пользователя** - по реализации интерфейса пользователя различают *неграфические* и *графические операционные системы*. Неграфические операционные системы реализуют *интерфейс командной строки*, при котором основным устройством управления является клавиатура.

### 3. Обеспечение автоматического запуска

**Обеспечение автоматического запуска** - все операционные системы обеспечивают свой автоматический запуск. Для дисковых операционных систем в специальной (*системной*) области диска создается запись программного кода. Обращение к этому коду выполняют программы, находящиеся в базовой системе ввода-вывода (*BIOS*). Завершая свою работу, они дают команду на загрузку и исполнение содержимого системной области диска.

Не дисковые операционные системы используются в специализированных вычислительных системах (например, в компьютеризированных устройствах автоматического управления). Математическое обеспечение таких систем содержится в микросхемах *ПЗУ* и его можно условно рассматривать как аналог операционной системы, автоматический запуск которой осуществляется аппаратно. При подаче питания процессор обращается к фиксированному физическому адресу *ПЗУ* (его можно изменять аппаратно с использованием логических микросхем), с которого начинается запись программы инициализации операционной системы.

### 4. Организация файловой системы

**Организация файловой системы.** Все современные дисковые операционные системы обеспечивают создание файловой системы, предназначенной для хранения данных на дисках и обеспечения доступа к ним. Принцип организации файловой системы – *табличный*. Поверхность жесткого диска рассматривается как трехмерная матрица, измерениями которой являются номера поверхности, цилиндра и сектора. Под *цилиндром* понимается совокупность всех дорожек, принадлежащих разным поверхностям и находящихся на равном удалении от оси вращения. Данные о месте нахождения файла на диске хранятся в системной области диска в *FAT*-таблицах – таблицах размещения файлов. Нарушение *FAT*-таблицы приводит к невозможности воспользоваться данными, записанными на диске. Поэтому к таблице предъявляются особые требования надежности, и она имеет дубликат. Идентичность таблиц регулярно контролируется средствами операционной системы.

### 5. Обслуживание файловой структуры

**Обслуживание файловой структуры.** Несмотря на то, что данные о местоположении файлов хранятся в табличной форме, пользователю они предоставляются в виде иерархической структуры. Все необходимые преобразования берет на себя операционная система. К функции обслуживания файловой системы относятся следующие операции:

- создание файлов и присвоение им имен;
- создание каталогов (папок) и присвоение им имен;
- переименование файлов и каталогов (папок);
- копирование и перемещение файлов между дисками компьютера и между каталогами (папками) одного диска;
- удаление файлов и каталогов (папок);
- навигация по файловой структуре с целью доступа к заданному файлу, каталогу (папке);
- управление атрибутами файлов.

## **6. Управление установкой, исполнением и удалением приложений**

**Управление установкой, исполнением и удалением приложений.** С точки зрения управления исполнением приложений, различают *однозадачные* и *многозадачные* операционные системы. Однозадачные операционные системы (например, *MS-DOS*) передают все ресурсы вычислительной системы одному исполняемому приложению и не допускают ни параллельного выполнения другого приложения (*полная многозадачность*), ни его приостановки и запуска другого приложения (*вытесняющая многозадачность*). Параллельно с однозадачными операционными системами возможна работа только специальных *резидентных программ*, которые не опираются на операционную систему, а непосредственно работают с процессором, используя его систему прерываний.

Большинство современных графических операционных систем является многозадачными. Они управляют распределением ресурсов вычислительной системы между задачами и обеспечивают возможность:

- одновременной или поочередной работы нескольких приложений;
- обмена данными между приложениями;
- совместного использования программных, аппаратных, сетевых и прочих ресурсов вычислительной системы несколькими приложениями.

## **7. Обеспечение взаимодействия с аппаратным обеспечением**

Средства аппаратного обеспечения вычислительной техники отличаются гигантским многообразием. Существуют сотни различных моделей видеоадаптеров, звуковых карт, мониторов, принтеров, сканеров и прочего оборудования. Ни один разработчик программного обеспечения не в состоянии предусмотреть все варианты взаимодействия своей программы, например, с печатающим устройством.

Гибкость аппаратных и программных конфигураций вычислительных систем поддерживается за счет того, что каждый разработчик оборудования прикладывает к нему специальные программные средства управления — драйверы. Драйверы имеют точки входа для взаимодействия с прикладными программами, а диспетчеризация обращений прикладных программ к драйверам устройств — это одна из функций операционной системы.

## **8. Обслуживание компьютера**

**Обслуживание компьютера.** Предоставление операционной системой основных средств обслуживания компьютера обычно реализуется за счет включения в ее базовый состав служебных приложений.

- 8.1. Средства проверки дисков.
- 8.2. Средства «сжатия» дисков.
- 8.3. Средства управления виртуальной памятью.
- 8.4. Средства кэширования дисков.
- 8.5. Средства резервного копирования данных. .

## **9. Прочие функции операционных систем**

**Прочие функции операционных систем.** Кроме основных (базовых) функций, операционные системы могут предоставлять различные дополнительные функции:

- возможность поддержки функционирования локальной компьютерной сети без специального программного обеспечения;
- обеспечение доступа к основным службам Интернета средствами, интегрированными в состав операционной системы;

- возможность создания системными средствами сервера Интернета, его обслуживание и управление посредством удаленного соединения;
- наличие средств защиты данных от несанкционированного доступа, просмотра и внесения изменений;
- возможность оформления рабочей среды операционной системы, в том числе и средствами, относящимися к категории мультимедиа;
- возможность обеспечения комфортной поочередной работы различных пользователей на одном персональном компьютере с сохранением персональных настроек рабочей среды каждого из них;
- возможность автоматического исполнения операций обслуживания компьютера по заданному расписанию или под управлением удаленного сервера;
- возможность работы с компьютером для лиц, имеющих физические недостатки, связанные с органами зрения, слуха и другими.

Кроме перечисленных функций, операционные системы могут включать минимальный набор прикладного программного обеспечения, которое можно использовать для исполнения простейших практических задач:

- чтения, редактирования и печати текстовых документов;
- создания и редактирования простейших рисунков;
- выполнения арифметических и математических расчетов;
- ведения дневников и служебных блокнотов;
- создания, передачи и приема сообщений электронной почты;
- создания и редактирования факсимильных сообщений;
- воспроизведения и редактирования звукозаписи;
- воспроизведения видеозаписи;
- разработки и воспроизведения комплексных электронных документов, включающих текст, графику, звукозапись и видеозапись.

Конкретный выбор операционной системы определяется совокупностью предоставляемых функций и конкретными требованиями к рабочему месту. По мере развития аппаратных средств вычислительной техники и средств связи, функции операционных систем непрерывно расширяются, а средства их исполнения совершенствуются.

## 10. Понятие баз данных

**База данных (БД)** – совокупность взаимосвязанных, хранящихся вместе данных при наличии такой минимальной избыточности, которая допускает их использование оптимальным образом для одного или нескольких приложений.

Создание базы данных, ее поддержка и обеспечение доступа пользователей к ней осуществляется централизованно с помощью специального программного инструментария – системы управления базами данных.

## 11. Модели данных.

**Модель данных** - это совокупность структур данных и операций их обработки. Рассмотрим три основных типа моделей данных: иерархическую, сетевую и реляционную.

**Иерархическая модель** представляет собой совокупность элементов, расположенных в порядке их подчинения от общего к частному и образующих перевернутое по структуре дерево (граф).

**В сетевой структуре** при тех же основных понятиях (уровень, узел, связь) каждый элемент может быть связан с любым другим элементом.

**Реляционная модель** данных объекты и связи между ними представляет в виде таблиц, при этом связи тоже рассматриваются как объекты. Все строки, составляющие таблицу в реляционной базе данных, должны иметь первичный ключ. Все современные средства СУБД поддерживают реляционную модель данных.

## 12. Проектирование баз данных.

**Проектирование баз данных** — процесс создания схемы базы данных и определения необходимых ограничений целостности.

#### **Этапы проектирования.**

Процесс проектирования включает в себя следующие этапы:

1. Инфологическое проектирование.
2. Определение требований к операционной обстановке, в которой будет функционировать информационная система.
3. Выбор системы управления базой данных (СУБД) и других инструментальных программных средств.
4. Логическое проектирование БД.
5. Физическое проектирование БД.

Инфологический подход не предоставляет формальных способов моделирования реальности, но он закладывает основы методологии проектирования баз данных.

#### **Требования к проекту базы данных.**

Основная цель процесса проектирования БД состоит в получении такого проекта, который удовлетворяет следующим требованиям:

1. Корректность схемы БД, т.е. база должна быть гомоморфным образом моделируемой предметной области (ПО), где каждому объекту предметной области соответствуют данные в памяти ЭВМ, а каждому процессу – адекватные процедуры обработки данных.
2. Обеспечение ограничений (на объёмы внешней и оперативной памяти и другие ресурсы вычислительной системы).
3. Эффективность функционирования (соблюдение ограничений на время реакции системы на запрос и обновление данных).
4. Защита данных (от аппаратных и программных сбоев и несанкционированного доступа).
5. Простота и удобство эксплуатации.
6. Гибкость, т.е. возможность развития и адаптации к изменениям предметной области и/или требований пользователей.

Удовлетворение требований 1–4 обязательно для принятия проекта.

#### **Системы управления базами данных.**

Система управления базами данных — совокупность программных и лингвистических средств общего или специального назначения, обеспечивающих управление созданием и использованием баз данных.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЕ СТУДЕНТОВ**

**Б1.О.01 ФИЛОСОФИЯ**

Направление подготовки

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

Профиль

**Автоматизация технологических процессов и производств  
в горной промышленности**

форма обучения: **очная**

год набора: 2022

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

Одобрена на заседании кафедры

Философии и культурологии

(название кафедры)

Зав. кафедрой

(подпись)

Беляев В. П.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 01.09.2021

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

Горно-механического факультета

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Осипов П. А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 12.10.2021

(Дата)

Екатеринбург



## 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 написанию реферата                     | 17 |
| 8 | Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов | 19 |
|   | Заключение                                                          | 21 |
|   | Список использованных источников                                    | 22 |

## 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 проблеме;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнения 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 самостоятельной работе, 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 опiski, 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 тестов 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 избежать 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 <sup>1</sup>.

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)<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii\\_dlya\\_studentov\\_21.pdf](http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf)

<sup>2</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: [http://priab.ru/images/metod\\_agro/Metod\\_Inostran\\_yazyk\\_35.03.04\\_Agro\\_15.01.2016.pdf](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 монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы.

### 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 согласована 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 соответствовать 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:

| <i>Критерии оценки доклада, сообщения</i>             | <i>Количество баллов</i> |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| 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 — совершенно 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 убедиться 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 определяется 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 итогов 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 обуславливается 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 написанию реферата

Слово "реферат" (от латинского – *referre* – докладывать, сообщать) означает сжатое изложение в устной или письменной форме содержания какого-либо вопроса или темы на основе критического обзора информации.

Написание реферата - вид самостоятельной работы студента, содержащий информацию, дополняющую и развивающую основную тему, изучаемую на аудиторных занятиях. Реферат может включать обзор нескольких источников и служить основой для доклада на семинарах, конференциях.

При подготовке реферата необходимо соблюдать следующие правила.

Ясно и четко сформулировать цель и задачи реферата, отражающие тему или решение проблемы.

Найти литературу по выбранной теме; составить перечень источников, обязательных к прочтению.

Только после предварительной подготовки следует приступать к написанию реферата. Прежде всего, составить план, выделить в нем части.

*Введение.* В этом разделе раскрывается цель и задачи работы; здесь необходимо сформулировать проблему, которая будет проанализирована в реферате, изложить своё отношение к ней, то есть мотивацию выбора; определить особенность постановки данной проблемы авторами изученной литературы; объяснить актуальность и социальную значимость выбранной темы.

*Основная часть.* Разделы, главы, параграфы основной части должны быть направлены на рассмотрение узловых моментов в теме реферата. Изложение содержания изученной литературы предполагает его критическое осмысление, глубокий логический анализ.

Каждый раздел основной части реферата предполагает детальное изучение отдельного вопроса темы и последовательное изложение структуры текстового материала с обязательными ссылками на первоисточник. В целом, содержание основной части должно отражать позиции отдельных авторов, сравнительную характеристику этих позиций, выделение узловых вопросов дискурса по выбранной для исследования теме.

*Заключение.* В заключении автор реферата должен сформулировать личную позицию в отношении изученной проблемы и предложить, может быть, свои способы её решения. Целесообразно сделать общие выводы по теме реферата и ещё раз отметить её актуальность и социальную значимость.

*Список использованных источников и литературы.*

Написание рефератов является одной из форм обучения студентов, направленной на организацию и повышение уровня самостоятельной работы, а также на усиление контроля за этой работой.

В отличие от теоретических семинаров, при проведении которых приобретаются, в частности, навыки высказывания своих суждений и изложения мнений других авторов в устной форме, написание рефератов формирует навыки изложения своих мыслей в письменной форме грамотным языком, хорошим стилем.

В зависимости от содержания и назначения в учебном процессе рефераты можно подразделить на два основных типа: научно-проблемные и обзорно-информационные.

*Научно-проблемный реферат.* При написании такого реферата следует изучить и кратко изложить имеющиеся в литературе суждения по определенному, спорному в теории, вопросу (проблеме) по данной теме, высказать по этому вопросу (проблеме) собственную точку зрения с соответствующим ее обоснованием.

*Обзорно-информационный реферат.* Разновидностями такого реферата могут быть следующие:



1) краткое изложение основных положений той или иной книги, монографии, содержащих материалы, относящиеся к изучаемой теме по курсу дисциплины;

2) подбор и краткое изложение содержания статей по определенной проблеме (теме, вопросу), опубликованных в различных журналах за определенный период, либо в сборниках («научных трудах», «ученых записках» и т.д.).

Темы рефератов определяются преподавателем. Литература либо рекомендуется преподавателем, либо подбирается аспирантами самостоятельно, что является одним из элементов самостоятельной работы.

Объем реферата должен быть в пределах 15 страниц машинописного текста через 1,5 интервала. При оформлении реферата необходимо ориентироваться на правила и установленные стандарты для учебных и научных работ.

Реферат сдается в указанные преподавателем сроки.

Критерии оценивания:

- достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в реферате проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);

- уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований);

- личные заслуги автора реферата (новые знания, которые получены помимо основной образовательной программы, новизна материала и рассмотренной проблемы, научное значение исследуемого вопроса);

- культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора);

- культура оформления материалов работы (соответствие реферата всем стандартным требованиям);

- знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;

- степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всестороннее раскрытие темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению);

- качество и ценность полученных результатов (степень завершенности реферативного исследования, спорность или однозначность выводов);

- корректное использование литературных источников, грамотное оформление ссылок.

## **8. 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 неувоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадет 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 неустойчивый 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 в 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 / ВолГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Направление подготовки


***15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств***

Направленность (профиль)

***Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности***

Одобрены на заседании кафедры  
Управления персоналом  
*(название кафедры)*  
Зав. кафедрой Ветошн -  
*(подпись)*  
Ветошкина Т.А.  
*(Фамилия И.О.)*  
Протокол №1 от 16.09.2021  
*(Дата)*

Рассмотрена методической комиссией

Горно-механического факультета  
*(название факультета)*  
Председатель   
*(подпись)*  
Осипов П.А.  
*(Фамилия И.О.)*  
Протокол № № 2 от 12.10.2021  
*(Дата)*

Екатеринбург

2021



Автор: Абрамов С. М., к.пед.н., доцент

Оценочные материалы по дисциплине согласованы с выпускающей кафедрой  
автоматики и компьютерных технологий

Заведующий кафедрой



В.С. Бочков

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                       | 3  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ.....           | 6  |
| ПОДГОТОВКА К ДОКЛАДУ.....                           | 10 |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ...15 |    |
| ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ.....                      | 18 |
| ПОДГОТОВКА К РЕШЕНИЮ КЕЙСОВ.....                    | 19 |
| ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ.....                            | 22 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....          | 24 |

## 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 знаний 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 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 – практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных задач 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 «*Всеобщая история*» 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 к 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 «*Всеобщая история*» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т. ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т. ч. подготовка доклада, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания);
- подготовка к тестированию;
- решение кейс-задач;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## 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 рамки 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 серьезный,

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.;
- просмотрное – 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 ДОКЛАДА

Одной из форм текущего контроля является доклад, который представляет собой продукт самостоятельной работы студента.

Доклад - это публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

Как правило, в основу доклада ложится анализ литературы по проблеме. Он должен носить характер краткого, но в то же время глубоко аргументированного устного сообщения. В нем студент должен, по возможности, полно осветить различные точки зрения на проблему, выразить собственное мнение, сделать критический анализ теоретического и практического материала.

Подготовка доклада является обязательной для обучающихся, если доклад указан в перечне форм текущего контроля успеваемости в рабочей программе дисциплины.

Доклад должен быть рассчитан на 7-10 минут.

Обычно доклад сопровождается представлением презентации.

Презентация (от англ. «presentation» - представление) - это набор цветных слайдов на определенную тему, который хранится в файле специального формата с расширением PP.

Целью презентации - донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации, изложенной в докладе, в удобной форме.

Перечень примерных тем докладов с презентацией представлен в рабочей программе дисциплины, он выдается обучающимся заблаговременно вместе с методическими указаниями по подготовке. Темы могут распределяться студентами самостоятельно (по желанию), а также закрепляться преподавателем дисциплины.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений 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.

Для этого, остановитесь на теме, которая вызывает у Вас больший интерес; определите цель выступления; подумайте, достаточно ли вы знаете по выбранной теме или проблеме и сможете ли найти необходимый материал;

- осуществить сбор материала к выступлению.

Начинайте подготовку к докладу заранее; обращайтесь к справочникам, энциклопедиям, научной литературе по данной проблеме; записывайте необходимую информацию на отдельных листах или тетради;

- организовать работу с литературой.

При подборе литературы по интересующей теме определить конкретную цель поиска: что известно по данной теме? что хотелось бы узнать? для чего нужна эта информация? как ее можно использовать в практической работе?

- во время изучения литературы следует: записывать вопросы, которые возникают по мере ознакомления с источником, а также ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;

- обработать материал.

Учитывайте подготовку и интересы слушателей; излагайте правдивую информацию; все мысли должны быть взаимосвязаны между собой.

При подготовке доклада с презентацией особо необходимо обратить внимание на следующее:

- подготовка доклада начинается с изучения источников, рекомендованных к соответствующему разделу дисциплины, а также специальной литературы для докладчика, список которой можно получить у преподавателя;

- важно также ознакомиться с имеющимися по данной теме монографиями, учебными пособиями, научными информационными статьями, опубликованными в периодической печати.

Относительно небольшой объем текста доклада, лимит времени, отведенного для публичного выступления, обуславливает потребность в тщательном отборе материала, умелом выделении главных положений в содержании доклада, использовании наиболее доказательных фактов и убедительных примеров, исключении повторений и многословия.

Решить эти задачи помогает составление развернутого плана.

План доклада должен содержать следующие главные компоненты: краткое вступление, вопросы и их основные тезисы, заключение, список литературы.

После составления плана можно приступить к написанию текста. Во вступлении важно показать актуальность проблемы, ее практическую значимость. При изложении вопросов темы раскрываются ее основные положения. Материал содержания вопросов полезно располагать в таком порядке: тезис; доказательство тезиса; вывод и т. д.

Тезис - это главное основополагающее утверждение. Он обосновывается путем привлечения необходимых цитат, цифрового материала, ссылок на статьи. При изложении содержания вопросов особое внимание должно быть обращено на раскрытие причинно-следственных связей, логическую последовательность тезисов, а также на формулирование окончательных выводов. Выводы должны быть краткими, точными, достаточно аргументированными всем содержанием доклада.

В процессе подготовки доклада студент может получить консультацию у преподавателя, а в случае необходимости уточнить отдельные положения.

### *Выступление*

При подготовке к докладу перед аудиторией необходимо выбрать способ выступления:

- устное изложение с опорой на конспект (опорой могут также служить заранее подготовленные слайды);
- чтение подготовленного текста.

Чтение заранее написанного текста значительно уменьшает влияние выступления на аудиторию. Запоминание написанного текста заметно сковывает выступающего и привязывает к заранее составленному плану, не давая возможности откликаться на реакцию аудитории.

Короткие фразы легче воспринимаются на слух, чем длинные.

Необходимо избегать сложных предложений, причастных и деепричастных оборотов. Излагая сложный вопрос, нужно постараться передать информацию по частям.

Слова в речи надо произносить четко и понятно, не надо говорить слишком быстро или, наоборот, растягивать слова. Надо произнести четко особенно ударную гласную, что оказывает наибольшее влияние на разборчивость речи.

Пауза в устной речи выполняет ту же роль, что знаки препинания в письменной. После сложных выводов или длинных предложений необходимо сделать паузу, чтобы слушатели могли вдуматься в сказанное или правильно понять сделанные выводы. Если выступающий хочет, чтобы его понимали, то не следует говорить без паузы дольше, чем пять с половиной секунд.

Особое место в выступлении занимает обращение к аудитории. Известно, что обращение к собеседнику по имени создает более доверительный контекст деловой беседы. При публичном выступлении также можно использовать подобные приемы. Так, косвенными обращениями могут служить такие выражения, как «Как Вам известно», «Уверен, что Вас это не оставит равнодушными». Выступающий показывает, что слушатели интересны ему, а это самый простой путь достижения взаимопонимания.

Во время выступления важно постоянно контролировать реакцию слушателей. Внимательность и наблюдательность в сочетании с опытом позволяют оратору уловить настроение публики. Возможно, рассмотрение некоторых вопросов придется сократить или вовсе отказаться от них.

После выступления нужно быть готовым к ответам на возникшие у аудитории вопросы.

Стоит обратить внимание на вербальные и невербальные составляющие общения. Небрежность в жестах недопустима. Жесты могут быть приглашающими, отрицающими, вопросительными, они могут подчеркнуть нюансы выступления.

## *Презентация*

Презентация наглядно сопровождает выступление.

Этапы работы над презентацией могут быть следующими:

- осмыслите тему, выделите вопросы, которые должны быть освещены в рамках данной темы;
- составьте тезисы собранного материала. Подумайте, какая часть информации может быть подкреплена или полностью заменена изображениями, какую информацию можно представить в виде схем;
- подберите иллюстративный материал к презентации: фотографии, рисунки, фрагменты художественных и документальных фильмов, материалы кинохроники, разработайте необходимые схемы;
- подготовленный материал систематизируйте и «упакуйте» в отдельные блоки, которые будут состоять из собственно текста (небольшого по объему), схем, графиков, таблиц и т.д.;
- создайте слайды презентации в соответствии с необходимыми требованиями;
- просмотрите презентацию, оцените ее наглядность, доступность, соответствие языковым нормам.

### *Требования к оформлению презентации*

Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS Power Point.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Чаще всего демонстрация презентации проецируется на большом экране, реже – раздается собравшимся как печатный материал.

Количество слайдов должно быть пропорционально содержанию и продолжительности выступления (например, для 5-минутного выступления рекомендуется использовать не более 10 слайдов).

На первом слайде обязательно представляется тема выступления и сведения об авторах.

Следующие слайды можно подготовить, используя две различные стратегии их подготовки:

1-я стратегия: на слайды выносятся опорный конспект выступления и ключевые слова с тем, чтобы пользоваться ими как планом для выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- объем текста на слайде – не больше 7 строк;
- маркированный/нумерованный список содержит не более 7 элементов;
- отсутствуют знаки пунктуации в конце строк в маркированных и нумерованных списках;
- значимая информация выделяется с помощью цвета, кегля, эффектов анимации.

Особо внимательно необходимо проверить текст на отсутствие ошибок и опечаток. Основная ошибка при выборе данной стратегии состоит в том, что выступающие заменяют свою речь чтением текста со слайдов.

2-я стратегия: на слайды помещается фактический материал (таблицы, графики, фотографии и пр.), который является уместным и достаточным средством наглядности, помогает в раскрытии стержневой идеи выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- выбранные средства визуализации информации (таблицы, схемы, графики и т. д.) соответствуют содержанию;
- использованы иллюстрации хорошего качества (высокого разрешения), с четким изображением (как правило, никто из присутствующих не заинтересован вчитываться в текст на ваших слайдах и всматриваться в мелкие иллюстрации).

Максимальное количество графической информации на одном слайде – 2 рисунка (фотографии, схемы и т.д.) с текстовыми комментариями (не более 2 строк к каждому). Наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана.

Обычный слайд, без эффектов анимации, должен демонстрироваться на экране не менее 10 - 15 секунд. За меньшее время аудитория не успеет осознать содержание слайда.

Слайд с анимацией в среднем должен находиться на экране не меньше 40 – 60 секунд (без учета времени на случайно возникшее обсуждение). В связи с этим лучше настроить презентацию не на автоматический показ, а на смену слайдов самим докладчиком.

Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24 пунктов, для информации - не менее 18.

В презентациях не принято ставить переносы в словах.

Наилучшей цветовой гаммой для презентации являются контрастные цвета фона и текста (белый фон – черный текст; темно-синий фон – светло-желтый текст и т. д.).

Лучше не смешивать разные типы шрифтов в одной презентации.

Рекомендуется не злоупотреблять прописными буквами (они читаются хуже).

## ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;

- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;

2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;

3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

Примером практико-ориентированного задания по дисциплине «*Всеобщая история*» выступает **анализ исторического документа**.

Алгоритм анализа исторического документа:

1. Происхождение текста.

1.1. Кто написал этот текст?

1.2. Когда он был написан?

1.3. К какому виду источников он относится: письмо, дневник, официальный документ и т.п.?

2. Содержание текста.



Каково содержание текста? Сделайте обзор его структуры. Подчеркните наиболее важные слова, персоналии, события. Если вам не известны какие-то слова, поработайте со словарем.

3. Достоверна ли информация в тексте?

3.1. Свидетелем первой или второй очереди является автор текста? (Если автор присутствовал во время события, им описываемого, то он является первоочередным свидетелем).

3.2. Текст первичен или вторичен? (Первичный текст современен событию, вторичный текст берет информацию из различных первичных источников. Первичный текст может быть написан автором второй очереди, то есть созданным много позже самого события).

4. Раскройте значение источника и содержащейся в ней информации.

5. Дайте обобщающую оценку данному источнику.

- Когда, где и почему появился закон (сборник законов)?

- Кто автор законов?

- Чьи интересы защищает закон?

- Охарактеризуйте основные положения закона (ссылки на текст, цитирование).

- Сравните с предыдущими законами.

- Что изменилось после введения закона?

- Ваше отношение к этому законодательному акту (справедливость, необходимость и т.д.).

## 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 РЕШЕНИЮ КЕЙСОВ

Целью такого вида самостоятельной работы, как решение кейсов, является формирование умения анализировать в короткие сроки большой объем неупорядоченной информации, принятие решений в условиях недостаточной информации.

Кейс-задание (англ. case - случай, ситуация) - метод обучения, основанный на разборе практических проблемных ситуаций - кейсов, связанных с конкретным событием или последовательностью событий.

Различают следующие виды кейсов:

- иллюстративные,
- аналитические,
- кейсы, связанные с принятием решений.

Подготовка кейс-задания осуществляется в следующей последовательности:

- 1) подготовить основной текст с вопросами для обсуждения:
  - титульный лист с кратким запоминающимся названием кейса;
  - введение, где упоминается герой (герои) кейса, рассказывается об истории вопроса, указывается время начала действия;
  - основная часть, где содержится главный массив информации, внутренняя интрига, проблема;
  - заключение (в нем решение проблемы, рассматриваемой в кейсе, иногда может быть не завершено);
- 2) подобрать приложения с подборкой различной информации, передающей общий контекст кейса (документы, публикации, фото, видео и др.);
- 3) предложить возможное решение проблемы.

Планируемые результаты самостоятельной работы в ходе решения кейсов:

- способность студентов анализировать результаты научных исследований и применять их при решении конкретных исследовательских задач;
- готовность использовать индивидуальные креативные способности для оригинального решения исследовательских задач;
- способность решать нестандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий.

Алгоритм решения кейс-задачи студентом можно представить, как взаимосвязь последовательных действий:

1. Понимание задачи:
  - усвоение какой учебной темы предлагает решение кейса;
  - какого рода результат требуется;
  - нужно ли дать оценку тому, что произошло, или рекомендации в отношении того, что должно произойти;

- если требуется прогноз, на какой период времени вы должны разработать подробный план действий;

- какая форма презентации требуется, каковы требования к ней;

- сколько времени вы должны работать с кейсом?

2. Просмотр кейса. После того как студенты узнали, каких действий от них ждут, они должны "почувствовать" ситуацию кейса:

- посмотреть его содержание, стараясь понять основную идею и вид предоставленной информации;

- если на этой стадии возникают вопросы, или "выскакивают" важные мысли, или кажутся подходящими те или иные концепции курса, прочитав текст до конца, следует их выписать;

- после этого прочитать кейс медленнее, отмечая маркером или записывая пункты, которые кажутся существенными.

3. Составление описания как путь изучения ситуации и определения тем. При просмотре кейса вы неизбежно начнете:

- структурировать ситуацию, оценивая одни аспекты как важные, а другие как несущественные;

- определить и отобразить все моменты, которые могли иметь отношение к ситуации. Из них можно построить систему взаимосвязанных проблем, которые сделали ситуацию заслуживающей анализа;

- рассмотреть факторы, находящиеся вне прямого контекста проблемы, поскольку они могут быть чрезвычайно важны;

- выделить "темы" – связанные группы факторов, которые могут воздействовать на каждый аспект ситуации. Например, одна их часть может иметь дело с воспринимаемым низким качеством, другая – с изменениями в поведении конкурента;

- описать ситуацию.

4. Диагностика проблемы. Процесс определения проблемы включает в себя следующие действия:

- вспомнить изученные ранее темы и провести по ним мозговой штурм для выявления потенциально соответствующих кейсу теоретических знаний;

- вертикально структурируйте вопрос, начиная с тех, которые касаются отдельных работников, затем группы или подразделения, организации в целом и, наконец, окружающей среды;

- изучите обстоятельства возникновения ситуации;

- не забывать возвращаться к информации кейса и более внимательно рассматривать факторы, ставшие важными в ходе анализа.

5. Формулировка проблем. На этой стадии следует:

- письменно сформулировать восприятие основных проблем;

- при наличии нескольких проблем следует установить их приоритетность, используя следующие критерии:

- важность – что произойдет, если эта проблема не будет решена;

- срочность – как быстро нужно решить эту проблему;

- иерархическое положение — до какой степени эта проблема является причиной других проблем;

- разрешимость – можете ли вы сделать что-либо для ее решения.

6. Выбор критериев решения проблемы. Сразу после выяснения структуры проблемы следует подумать о критериях выбора решений.

7. Генерирование альтернатив. Важно разработать достаточно широкий круг вариантов решения проблемы, опираясь на известные или изучаемые концепции, чтобы предложить лучшие способы действий, опыт решения других кейсов, креативные методы (мозговой штурм, аналогия, метафора и др.).

8. Оценка вариантов и выбор наиболее подходящего из них.

- необходимо определите критерии предпочтительности варианта;

- критерии выбора варианта должны быть основаны на том, в какой мере они способствуют решению проблемы в целом, а также по признакам выполнимости, быстроты, эффективности, экономичности;

- каждый из критериев необходимо проанализировать с позиций всех групп интересов;

- при оценке вариантов вы должны подумать о том, как они будут воздействовать не только на центральную проблему, но и на всю ситуацию в целом;

- определите вероятные последствия использования ваших вариантов.

9. Презентация выводов.

## ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

- *Письменный опрос*

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 избежать грамматических ошибок в работе.

- *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 неизвестными терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии.

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.

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание.

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.

## ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*Всеобщая история*» 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 «*Всеобщая история*».

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.



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.О.02.02 ИСТОРИЯ РОССИИ

Направление подготовки

*15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств*

Направленность (профиль)

*Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности*

Одобрены на заседании кафедры  
Управления персоналом  
*(название кафедры)*

Зав. кафедрой

*Ветошн -*  
*(подпись)*

Ветошкина Т.А.  
*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 1 от 16.09.2021  
*(Дата)*

Рассмотрена методической комиссией

Горно-механического факультета  
*(название факультета)*

Председатель

*(подпись)*

Осипов П.А.  
*(Фамилия И. О.)*

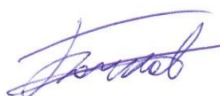
Протокол № 2 от 12.10.2021  
*(Дата)*

Екатеринбург

Автор: Железникова А.В.

Методические указания по организации СР согласованы с выпускающей кафедрой автоматики и компьютерных технологий

Заведующий кафедрой

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'В.С. Бочков', is positioned above the printed name.

В.С. Бочков

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                      | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....                      | 6  |
| ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ.....                 | 10 |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ.....          | 18 |
| ПОДГОТОВКА К ДОКЛАДУ.....                          | 22 |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ.... | 27 |
| ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ.....                     | 30 |
| ПОДГОТОВКА ЭССЕ.....                               | 31 |
| ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ.....                           | 34 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....         | 36 |

## 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 знаний 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 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 – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных задач 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 «История России» 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 к сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволяют 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 «История России» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т. ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т. ч. подготовка доклада, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания);
- подготовка к тестированию;
- подготовка эссе;
- 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. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории**

1. История как наука. Сущность, формы, функции исторического знания.
2. Методы и источники изучения истории. Понятие и классификация исторического источника.
3. Концепции исторического процесса.
4. История России - неотъемлемая часть всемирной истории.
5. Историография отечественной истории.

### **Тема 2. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян**

1. Этногенез восточных славян.
2. Славяне: расселение, занятия, общественное устройство, верования.
3. Предпосылки образования государственности у восточных славян
4. Норманнская и антинорманнская теории.
5. Первые князья династии Рюриковичей.
6. Русь и Византия. Первые договоры.

### **Тема 3. Киевская Русь**

1. Социально-экономический и общественно-политический строй Киевской Руси (конец X – первая треть XII вв.).
2. Формирование системы государственного управления. Князья Игорь, Ольга, Святослав.
3. Князь Владимир. Крещение Руси и его значение.
4. Ярослав Мудрый. «Русская правда» - первый свод законов Древнерусского государства. Владимир Мономах.

### **Тема 4. Русь в эпоху феодальной раздробленности**

1. Предпосылки распада Киевской Руси и начала феодальной раздробленности.
2. Политическая раздробленность на Руси
  - а) Новгородская боярская республика.
  - б) Владимиро-Суздальская Русь. Юрий Долгорукий, Андрей Боголюбский, Всеволод Большое Гнездо.
  - в) Галицко-Волынская земля. Ростислав Мстиславич, Даниил Романович.
  - г) Киевская земля в период феодальной раздробленности.
3. Последствия раздробленности.
4. Завоевательные походы монголов и нашествие Батыя на Русь.
5. Борьба с немецко-шведской агрессией. Деятельность А. Невского
6. Золотоордынское влияние на развитие средневековой Руси: оценки историков.

## **Тема 5. Складывание Московского государства в XIV - XVI вв. (XIV – начало XVI вв.)**

1. Предпосылки и особенности процесса объединения русских земель.
2. Этапы политического объединения, их характеристика и содержание. Иван Калита, Дмитрий Донской.
3. Социально-экономическое развитие и формирование политических основ Российского государства при Иване III и Василии III.
4. Внутренняя и внешняя политика Ивана IV.
5. Культура Руси XIV – начала XVI вв.

## **Тема 6. Российское государство в XVII в.**

1. Смутное время начала XVII в.
2. Развитие Российского государства при первых царях династии Романовых:
  - а) новые явления в социально-экономической жизни;
  - б) движение социального протеста;
  - в) государственно-общественное развитие;
  - г) реформы патриарха Никона и церковный раскол;
  - д) внешняя политика России в XVII в., присоединение новых территорий

## **Тема 7. Россия в XVIII в.**

1. Реформы Петра I и начало российской модернизации
2. Внешняя политика Петра I. Рождение Российской империи.
3. «Эпоха дворцовых переворотов» (1725–1762 гг.).
4. Царствование Екатерины II:
  - а) социально-экономическое развитие России во 2-й половине XVIII в.;
  - б) «Просвещенный абсолютизм»: содержание, особенности, противоречия.
4. Российское государство в конце XVIII века. Павел I.
5. Внешняя политика России
6. Европеизация и секуляризация русской культуры: результаты и последствия.

## **Тема 8. Россия в XIX в.**

1. Александр I и его преобразования. М.М. Сперанский.
2. Внешняя политика в первой четверти XIX в.
3. Внутренняя и внешняя политика императора Николая I.
4. Александр II. Отмена крепостного права и ее влияние на социально-экономическое развитие страны.
5. Либерально-буржуазные реформы 60–70-х гг. XIX в. и их последствия.
6. «Контрреформы» Александра III: корректировка реформаторского курса.



7. Общественно-политические движения (консервативный, либеральный, революционный лагерь).

8. Внешняя политика России во второй половине XIX в.

9. Культура и общественная жизнь России в XIX в.

### **Тема 11. Россия в XX в.**

1. Проблемы российской модернизации на рубеже XIX –XX вв. Программа индустриализации С. Ю. Витте. Реформы П. А. Столыпина.

2. Революция 1905–1907 гг. в России. Становление многопартийности и парламентаризма в России.

3. Внешняя политика. Первая мировая война.

4. Февральская революция 1917 года. Октябрь 1917 года: приход к власти большевиков.

5. Гражданская война в России и первое десятилетие Советской власти

6. Новая экономическая политика: цели, направления, результаты.

7. Социально-экономические преобразования в СССР:

а) индустриализация страны: необходимость, источники, методы, итоги;

б) коллективизация сельского хозяйства;

в) формирование и упрочение административно-бюрократической системы.

8. Политическая система СССР в 1930-е годы. Завершение «культурной революции».

9. Образование СССР. Внешняя политика СССР в 1930-е гг.

10. СССР во Второй мировой войне

а) подготовка страны к войне, этапы войны;

б) крупнейшие сражения, партизанское движение, работа тыла;

в) СССР и союзники во Второй мировой войне;

г) итоги войны, цена Великой победы.

11. СССР в послевоенный период

12. Социально-экономическое и общественно-политическое развитие СССР в 1946–1953 гг.

13. Успехи и противоречия социально-экономического и внешне-политического развития страны под руководством Н. С. Хрущева

14. Советское общество в эпоху «застоя» в период руководства Л.И. Брежнева

15. СССР в середине 1980-1990 гг.

а) Экономические преобразования в стране. Политика «ускорения». «Перестройка» в СССР.

б) Концепция «Нового политического мышления» и ее претворение в жизнь.

в) Реформирование политической системы. Распад СССР.

### **Тема 17. Россия и мир в начале XXI в.**

1. Геополитические последствия распада СССР. Провозглашение суверенитета Российской Федерации. 2. Формирование новой государственности. Конституция 1993 г.

3. Социально-экономические преобразования. Рыночная модернизация страны.

4. Внешнеполитическая деятельность в условиях новой геополитической ситуации. Россия и мир на рубеже XX– XXI.

## **ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории**

История  
Исторический факт  
Исторический источник  
Интерпретация  
Этнос  
Менталитет  
Государство  
Цивилизация  
Формация  
Классы  
Прогресс  
Регресс  
Общественно-экономическая формация  
Геополитика

### **Тема 2. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян**

Великое переселение народов  
Этногенез  
Военная демократия  
Язычество  
Полюдь  
Повоз  
Погосты и уроки  
Феодализм  
Варяги  
Верьвь  
Вече  
Племенной союз  
Государство  
Князь  
Русь  
Волхвы  
Анты и венеды  
Отроки  
Смерды  
Закупы  
Рядовичи  
Холопы

### **Тема 3. Киевская Русь**

«Русская правда»  
Вотчина  
Боярская дума  
Децентрализация  
Уделы  
Централизация  
Поместье  
Воевода  
Ремесло  
Феодализм  
Феодальные отношения  
Усложнение социальной структуры  
Культура народная, культура религиозная  
Фольклор  
Храм  
Икона фреска  
Летописание  
Эволюция государственности  
Хазары, половцы, печенеги

#### **Тема 4. Русь в эпоху феодальной раздробленности**

Великий князь  
Княжеский двор  
Дружина  
Междоусобные войны  
Феодальная раздробленность  
Феодальные центры  
Боярская республика  
Посадник  
Тысяцкий  
Сепаратизм  
Последствия раздробленности  
Держава Чингисхана  
Золотая Орда  
Монголо-татарское нашествие  
Баскак  
Выход  
Подушная подать  
Монголо-татарское иго  
Ярлык  
Проблема взаимовлияния  
Вторжения с северо-запада  
Ливонский орден  
Рыцари

## **Тема 5. Складывание Московского государства в XIV - XVI вв. (XIV – начало XVI вв.)**

Централизация  
Приказы  
Поместье  
Дворяне  
Местничество  
Кормление  
Крепостное право  
Боярская дума  
Натуральное хозяйство  
Судебник  
Государев дворец  
Государева казна  
Государственные символы  
«Москва – третий Рим»  
Сословно-представительная монархия  
Земский собор  
Митрополит  
Крепостное право  
Венчание на царство  
Избранная рада  
Реформа  
Приказы  
Стрелецкое войско  
Стоглав  
Опричина  
Губные избы  
Династический кризис

## **Тема 6. Российское государство в XVII в.**

Смутное время  
Интервенция  
Крестьянская война  
Семибоярщина  
Самозванство  
Народное ополчение  
Сословно-представительная монархия  
Патриарх  
«Бунташный век»  
Тягло  
Урочные и заповедные лета  
Мануфактуры  
Юридическое закрепощение крестьян  
Личная зависимость

Внеэкономическая эксплуатация  
Стрельцы  
Казачество  
Полки нового строя  
Раскол в Русской православной церкви  
Старообрядчество  
Ярмарка  
Абсолютная монархия

### **Тема 7. Россия в XVIII в.**

Абсолютизм  
Империя  
Регулярная армия  
Синод  
Сенат  
Министерства  
Коллегии  
«Великое посольство»  
Подушная подать  
Табель о рангах  
Рекруты  
Ассамблеи  
Кунсткамера  
Протекционизм  
Меркантилизм  
Государственная монополия  
Дворцовые перевороты  
Гвардия  
Верховный Тайный совет  
Кондиции  
«Бироновщина»  
Просвещенный абсолютизм  
Уложенная комиссия  
Жалованная грамота  
Приписные крестьяне  
Обер-прокурор  
Господствующее сословие  
Податные сословия  
Крестьянская война

### **Тема 8. Россия в XIX в.**

Либеральные реформы  
Конституционализм  
Негласный комитет  
Государственный Совет

Отечественная война  
Конституция  
Монархия  
Крестьянский вопрос  
Либерализм  
Аракчеевщина  
Реакция  
Консерватизм  
Общественное движение  
Декабристы  
Западники  
Славянофилы  
Теория «официальной народности»  
Восточный вопрос  
Бюрократизация  
Кодификация  
Финансовая реформа Е.Ф. Канкрин  
Буржуазия  
Капитализм  
Рабочий класс  
Промышленный переворот  
Крестьянская реформа  
Выкупные платежи  
Временно-обязанные крестьяне  
Уставные грамоты  
Крестьянская община  
Народничество, радикализм  
Рабочее движение  
Марксизм  
Социал-демократия  
Контрреформы  
Легитимность  
Выкупная сделка  
Мировой суд  
Земство  
Всесословная воинская повинность  
Буржуазия, пролетариат  
Индустриализация и модернизация  
Союз трех императоров

#### **Тема 9. Россия в XX веке.**

Монополия  
Промышленный подъем  
Депрессия  
Модернизация

Революция  
Манифест  
Конституционная монархия  
Политическая партия  
Государственная Дума  
Прогрессивный блок  
Революционные партии  
Антанта  
Тройственный союз  
Аграрная реформа  
Отруб, хутор  
Советы  
Большевики, меньшевики  
Временное правительство  
Республика  
Двоевластие  
Учредительное собрание  
Первая Мировая война

Совет народных комиссаров  
Красная Армия  
Белое движение  
Гражданская война  
Сепаратный мирный договор  
Иностранная интервенция  
Мировая революция  
Декреты  
Военный коммунизм  
Продразверстка  
Авторитаризм  
Тоталитаризм  
Коминтерн  
Новая экономическая политика  
Продналог  
Индустриализация  
Коллективизация  
Культурная революция  
«Мюнхенский сговор»  
Лига Наций  
Коллективная безопасность  
Вторая Мировая война  
Пакт о ненападении

Государственный Комитет обороны, Ставка Верховного  
главнокомандования  
Эвакуация



Антигитлеровская коалиция  
Второй фронт  
Коренной перелом  
Партизанское движение, подпольное движение  
Сопротивление  
Фашизм, японский милитаризм  
Ленд-лиз  
Капитуляция  
ООН  
НАТО, ОВД  
Репрессии  
Либерализация политического режима  
Десталинизация  
Денежная реформа  
Мировая социалистическая система  
«Оттепель»  
ГУЛАГ  
Реабилитация  
«Холодная война»  
Совхоз  
Целина  
Мелиорация  
Спутник  
Освоение космоса  
Паритет  
Правозащитное движение  
Диссиденты  
Развитой социализм  
Герантократия  
Разрядка  
«Теневая экономика»  
Концепция развитого социализма  
Разрядка международной напряженности  
Стабильность кадров  
Реформа хозяйственного механизма  
Экстенсивный путь развития  
Страны социалистической ориентации  
Перестройка  
Гласность  
«Новое политическое мышление»  
Плюрализм  
СНГ  
Приватизация  
Прибыль и рентабельность  
Госприемка

«Шоковая терапия»  
Ваучер  
Распад СССР  
Многопартийность  
Возрождение парламентаризма  
Рыночная экономика  
Борьба с экстремизмом и терроризмом  
Дефолт  
Стабилизация  
Финансовый кризис  
Содружество Независимых государств

### **Тема 17. Россия и мир в начале XXI в.**

Правовое государство  
Гражданское общество  
Рыночная экономика  
Дефолт  
Вертикаль власти  
Олигархи  
Глобализация  
Совет Федерации  
Государственная Дума  
Совет Европы  
ВТО

## 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 рамки 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 серьезный,

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.;
- просмотрное – 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 ДОКЛАДА**

Одной из форм текущего контроля является доклад, который представляет собой продукт самостоятельной работы студента.

Доклад - это публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

Как правило, в основу доклада ложится анализ литературы по проблеме. Он должен носить характер краткого, но в то же время глубоко аргументированного устного сообщения. В нем студент должен, по возможности, полно осветить различные точки зрения на проблему, выразить собственное мнение, сделать критический анализ теоретического и практического материала.

Подготовка доклада является обязательной для обучающихся, если доклад указан в перечне форм текущего контроля успеваемости в рабочей программе дисциплины.

Доклад должен быть рассчитан на 7-10 минут.

Обычно доклад сопровождается представлением презентации.

Презентация (от англ. «presentation» - представление) - это набор цветных слайдов на определенную тему, который хранится в файле специального формата с расширением PP.

Целью презентации - донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации, изложенной в докладе, в удобной форме.

Перечень примерных тем докладов с презентацией представлен в рабочей программе дисциплины, он выдается обучающимся заблаговременно вместе с методическими указаниями по подготовке. Темы могут распределяться студентами самостоятельно (по желанию), а также закрепляться преподавателем дисциплины.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений 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.

Для этого, остановитесь на теме, которая вызывает у Вас больший интерес; определите цель выступления; подумайте, достаточно ли вы знаете по выбранной теме или проблеме и сможете ли найти необходимый материал;

- осуществить сбор материала к выступлению.

Начинайте подготовку к докладу заранее; обращайтесь к справочникам, энциклопедиям, научной литературе по данной проблеме; записывайте необходимую информацию на отдельных листах или тетради;

- организовать работу с литературой.

При подборе литературы по интересующей теме определить конкретную цель поиска: что известно по данной теме? что хотелось бы узнать? для чего нужна эта информация? как ее можно использовать в практической работе?

- во время изучения литературы следует: записывать вопросы, которые возникают по мере ознакомления с источником, а также ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;

- обработать материал.

Учитывайте подготовку и интересы слушателей; излагайте правдивую информацию; все мысли должны быть взаимосвязаны между собой.

При подготовке доклада с презентацией особо необходимо обратить внимание на следующее:

- подготовка доклада начинается с изучения источников, рекомендованных к соответствующему разделу дисциплины, а также специальной литературы для докладчика, список которой можно получить у преподавателя;

- важно также ознакомиться с имеющимися по данной теме монографиями, учебными пособиями, научными информационными статьями, опубликованными в периодической печати.

Относительно небольшой объем текста доклада, лимит времени, отведенного для публичного выступления, обуславливает потребность в тщательном отборе материала, умелом выделении главных положений в содержании доклада, использовании наиболее доказательных фактов и убедительных примеров, исключении повторений и многословия.

Решить эти задачи помогает составление развернутого плана.

План доклада должен содержать следующие главные компоненты: краткое вступление, вопросы и их основные тезисы, заключение, список литературы.

После составления плана можно приступить к написанию текста. Во вступлении важно показать актуальность проблемы, ее практическую значимость. При изложении вопросов темы раскрываются ее основные положения. Материал содержания вопросов полезно располагать в таком порядке: тезис; доказательство тезиса; вывод и т. д.

Тезис - это главное основополагающее утверждение. Он обосновывается путем привлечения необходимых цитат, цифрового материала, ссылок на статьи. При изложении содержания вопросов особое внимание должно быть обращено на раскрытие причинно-следственных связей, логическую последовательность тезисов, а также на формулирование окончательных выводов. Выводы должны быть краткими, точными, достаточно аргументированными всем содержанием доклада.

В процессе подготовки доклада студент может получить консультацию у преподавателя, а в случае необходимости уточнить отдельные положения.

## *Выступление*



При подготовке к докладу перед аудиторией необходимо выбрать способ выступления:

- устное изложение с опорой на конспект (опорой могут также служить заранее подготовленные слайды);
- чтение подготовленного текста.

Чтение заранее написанного текста значительно уменьшает влияние выступления на аудиторию. Запоминание написанного текста заметно сковывает выступающего и привязывает к заранее составленному плану, не давая возможности откликнуться на реакцию аудитории.

Короткие фразы легче воспринимаются на слух, чем длинные.

Необходимо избегать сложных предложений, причастных и деепричастных оборотов. Излагая сложный вопрос, нужно постараться передать информацию по частям.

Слова в речи надо произносить четко и понятно, не надо говорить слишком быстро или, наоборот, растягивать слова. Надо произнести четко особенно ударную гласную, что оказывает наибольшее влияние на разборчивость речи.

Пауза в устной речи выполняет ту же роль, что знаки препинания в письменной. После сложных выводов или длинных предложений необходимо сделать паузу, чтобы слушатели могли вдуматься в сказанное или правильно понять сделанные выводы. Если выступающий хочет, чтобы его понимали, то не следует говорить без паузы дольше, чем пять с половиной секунд.

Особое место в выступлении занимает обращение к аудитории. Известно, что обращение к собеседнику по имени создает более доверительный контекст деловой беседы. При публичном выступлении также можно использовать подобные приемы. Так, косвенными обращениями могут служить такие выражения, как «Как Вам известно», «Уверен, что Вас это не оставит равнодушными». Выступающий показывает, что слушатели интересны ему, а это самый простой путь достижения взаимопонимания.

Во время выступления важно постоянно контролировать реакцию слушателей. Внимательность и наблюдательность в сочетании с опытом позволяют оратору уловить настроение публики. Возможно, рассмотрение некоторых вопросов придется сократить или вовсе отказаться от них.

После выступления нужно быть готовым к ответам на возникшие у аудитории вопросы.

Стоит обратить внимание на вербальные и невербальные составляющие общения. Небрежность в жестах недопустима. Жесты могут быть приглашающими, отрицающими, вопросительными, они могут подчеркнуть нюансы выступления.

### *Презентация*

Презентация наглядно сопровождает выступление.

Этапы работы над презентацией могут быть следующими:

- осмыслите тему, выделите вопросы, которые должны быть освещены в рамках данной темы;
- составьте тезисы собранного материала. Подумайте, какая часть информации может быть подкреплена или полностью заменена изображениями, какую информацию можно представить в виде схем;
- подберите иллюстративный материал к презентации: фотографии, рисунки, фрагменты художественных и документальных фильмов, материалы кинохроники, разработайте необходимые схемы;
- подготовленный материал систематизируйте и «упакуйте» в отдельные блоки, которые будут состоять из собственно текста (небольшого по объему), схем, графиков, таблиц и т.д.;
- создайте слайды презентации в соответствии с необходимыми требованиями;
- просмотрите презентацию, оцените ее наглядность, доступность, соответствие языковым нормам.

### *Требования к оформлению презентации*

Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS Power Point.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Чаще всего демонстрация презентации проецируется на большом экране, реже – раздается собравшимся как печатный материал.

Количество слайдов должно быть пропорционально содержанию и продолжительности выступления (например, для 5-минутного выступления рекомендуется использовать не более 10 слайдов).

На первом слайде обязательно представляется тема выступления и сведения об авторах.

Следующие слайды можно подготовить, используя две различные стратегии их подготовки:

1-я стратегия: на слайды выносятся опорный конспект выступления и ключевые слова с тем, чтобы пользоваться ими как планом для выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- объем текста на слайде – не больше 7 строк;
- маркированный/нумерованный список содержит не более 7 элементов;
- отсутствуют знаки пунктуации в конце строк в маркированных и нумерованных списках;
- значимая информация выделяется с помощью цвета, кегля, эффектов анимации.

Особо внимательно необходимо проверить текст на отсутствие ошибок и опечаток. Основная ошибка при выборе данной стратегии состоит в том, что выступающие заменяют свою речь чтением текста со слайдов.

2-я стратегия: на слайды помещается фактический материал (таблицы, графики, фотографии и пр.), который является уместным и достаточным средством наглядности, помогает в раскрытии стержневой идеи выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- выбранные средства визуализации информации (таблицы, схемы, графики и т. д.) соответствуют содержанию;
- использованы иллюстрации хорошего качества (высокого разрешения), с четким изображением (как правило, никто из присутствующих не заинтересован вчитываться в текст на ваших слайдах и всматриваться в мелкие иллюстрации).

Максимальное количество графической информации на одном слайде – 2 рисунка (фотографии, схемы и т.д.) с текстовыми комментариями (не более 2 строк к каждому). Наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана.

Обычный слайд, без эффектов анимации, должен демонстрироваться на экране не менее 10 - 15 секунд. За меньшее время аудитория не успеет осознать содержание слайда.

Слайд с анимацией в среднем должен находиться на экране не меньше 40 – 60 секунд (без учета времени на случайно возникшее обсуждение). В связи с этим лучше настроить презентацию не на автоматический показ, а на смену слайдов самим докладчиком.

Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24 пунктов, для информации - не менее 18.

В презентациях не принято ставить переносы в словах.

Наилучшей цветовой гаммой для презентации являются контрастные цвета фона и текста (белый фон – черный текст; темно-синий фон – светло-желтый текст и т. д.).

Лучше не смешивать разные типы шрифтов в одной презентации.

Рекомендуется не злоупотреблять прописными буквами (они читаются хуже).

## **ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ**

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков,

необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных заданий от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;
- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что требует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;

2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;

3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

Примером практико-ориентированного задания по дисциплине «История России» выступает **анализ исторического документа**.

Алгоритм анализа исторического документа:

1. Происхождение текста.

1.1. Кто написал этот текст?

1.2. Когда он был написан?

1.3. К какому виду источников он относится: письмо, дневник, официальный документ и т.п.?

2. Содержание текста.

Каково содержание текста? Сделайте обзор его структуры. Подчеркните наиболее важные слова, персоналии, события. Если вам не известны какие-то слова, поработайте со словарем.

3. Достоверна ли информация в тексте?

3.1. Свидетелем первой или второй очереди является автор текста? (Если автор присутствовал во время события, им описываемого, то он является первоочередным свидетелем).

3.2. Текст первичен или вторичен? (Первичный текст современен событию, вторичный текст берет информацию из различных первичных источников. Первичный текст может быть написан автором второй очереди, то есть созданным много позже самого события).

4. Раскройте значение источника и содержащейся в ней информации.

5. Дайте обобщающую оценку данному источнику.

- Когда, где и почему появился закон (сборник законов)?

- Кто автор законов?

- Чьи интересы защищает закон?

- Охарактеризуйте основные положения закона (ссылки на текст, цитирование).

- Сравните с предыдущими законами.

- Что изменилось после введения закона?

- Ваше отношение к этому законодательному акту (справедливость, необходимость и т.д.).

## **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 ЭССЕ

**Эссе** - прозаическое сочинение небольшого объема и свободной композиции на частную тему, трактуемую субъективно и обычно неполно. (Словарь Ожегова)

Жанр эссе предполагает свободу творчества: позволяет автору в свободной форме излагать мысли, выражать свою точку зрения, субъективно оценивать, оригинально освещать материал; это размышление по поводу

когда-то нами услышанного, прочитанного или пережитого, часто это разговор вслух, выражение эмоций и образность.

Уникальность этого жанра в том, что оно может быть написано на любую тему и в любом стиле. На первом плане эссе – личность автора, его мысли, чувства, отношение к миру. Однако необходимо найти оригинальную идею (даже на традиционном материале), нестандартный взгляд на какую-либо проблему. Для грамотного, интересного эссе необходимо соблюдение некоторых правил и рекомендаций.

#### **Особенности эссе:**

- - наличие конкретной темы или вопроса;
- - личностный характер восприятия проблемы и её осмысления;
- - небольшой объём;
- - свободная композиция;
- - непринуждённость повествования;
- - внутреннее смысловое единство;
- - афористичность, эмоциональность речи.

#### **Эссе должно иметь следующую структуру:**

1. Вступление (введение) определяет тему эссе и содержит определения основных встречающихся понятий.

2. Содержание (основная часть) - аргументированное изложение основных тезисов. Основная часть строится на основе аналитической работы, в том числе - на основе анализа фактов. Наиболее важные обществоведческие понятия, входящие в эссе, систематизируются, иллюстрируются примерами. Суждения, приведенные в эссе, должны быть доказательны.

3. Заключение - это окончательные выводы по теме, то, к чему пришел автор в результате рассуждений. Заключение суммирует основные идеи. Заключение может быть представлено в виде суммы суждений, которые оставляют поле для дальнейшей дискуссии.

#### **Требования, предъявляемые к эссе:**

1. Объем эссе не должен превышать 1–2 страниц.
2. Эссе должно восприниматься как единое целое, идея должна быть ясной и понятной.
3. Необходимо писать коротко и ясно. Эссе не должно содержать ничего лишнего, должно включать только ту информацию, которая необходима для раскрытия вашей позиции, идеи.
4. Эссе должно иметь грамотное композиционное построение, быть логичным, четким по структуре.
5. Эссе должно показывать, что его автор знает и осмысленно использует теоретические понятия, термины, обобщения, мировоззренческие идеи.
6. Эссе должно содержать убедительную аргументацию для доказательства заявленной по проблеме позиции. Структура любого



доказательства включает по меньшей мере три составляющие: тезис, аргументы, вывод или оценочные суждения.

- Тезис — это сужение, которое надо 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.

Приветствуется использование:

- Эпиграфа, который должен согласовываться с темой эссе (проблемой, заключенной в афоризме); дополнять, углублять лейтмотив (основную мысль), логику рассуждения вашего эссе. Пословиц, поговорок, афоризмов других авторов, также подкрепляющих вашу точку зрения, мнение, логику рассуждения.
- Мнений других мыслителей, ученых, общественных и политических деятелей.
- Риторические вопросы.
- Непринужденность изложения.

Подготовка и работа над написанием эссе:

- изучите теоретический материал;
- уясните особенности заявленной темы эссе;
- продумайте, в чем может заключаться актуальность заявленной темы;
- выделите ключевой тезис и определите свою позицию по отношению к нему;
- определите, какие теоретические понятия, научные теории, термины помогут вам раскрыть суть тезиса и собственной позиции;
- составьте тезисный план, сформулируйте возникшие у вас мысли и идеи;
- для каждого аргумента подберите примеры, факты, ситуации из жизни, личного опыта, литературных произведений;
- распределите подобранные аргументы в последовательности;
- придумайте вступление к рассуждению;
- изложите свою точку зрения в той последовательности, которую вы наметили.
- сформулируйте общий вывод работы.

При написании эссе:

- напишите эссе в черновом варианте, придерживаясь оптимальной структуры;
- проанализируйте содержание написанного;
- проверьте стиль и грамотность, композиционное построение эссе, логичность и последовательность изложенного;

- внесите необходимые изменения и напишите окончательный вариант.

#### **Требования к оформлению:**

- Титульный лист.
- Текст эссе.
- Формат листов-А4. Шрифт- Times New Roman, размер-14, расстояние между строк- интерлиньяж полуторный, абзацный отступ-1,25см., поля-30мм(слева), 20мм (снизу),20мм (сверху), 20мм (справа). Страницы нумеруются снизу по центру. Титульный лист считается, но не нумеруется.

#### **Критерии оценивания эссе:**

1. Самостоятельное проведение анализа проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария
2. Четкость и лаконичность изложения сути проблемы
3. Материал излагается логически последовательно
4. Аргументированность собственной позиции
5. Наличие выводов
6. Владение навыками письменной речи

## **ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ**

### **• *Письменный опрос***

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 избежать грамматических ошибок в работе.

- *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.

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.
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание.

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.

## ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*История России*» 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 «*История России*».

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);

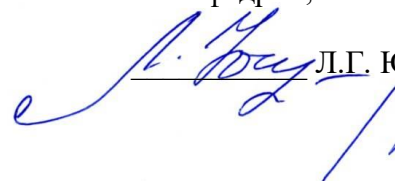
4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой, к.п.н., доцент

 Л.Г. Юсупова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

*по дисциплине*

**Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК**

Направление подготовки:

***15.03.04 Автоматизация технологических процессов и  
производств***

Профиль

***Автоматизация технологических процессов и производств  
в горной промышленности***

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобен на заседании кафедры

*Иностранных языков и деловой*

*коммуникации*

*(название кафедры)*

Протокол № 1 от 28.09.2021 г.

*(Дата)*

Екатеринбург

## Содержание

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Цели и задачи дисциплины .....                   | 3  |
| Требования к оформлению контрольной работы ..... | 4  |
| Содержание контрольной работы.....               | 4  |
| Выполнение работы над ошибками.....              | 8  |
| Критерии оценивания контрольной работы .....     | 8  |
| Образец титульного листа .....                   | 10 |

## 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:

*универсальные:*

- способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах) (УК-4).

*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 *15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств*

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации*. Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.О.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

| <i>начальная буква фамилии студента</i> | <i>№ варианта контрольной работы</i> |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| 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*, оборот *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 <i>to be</i> и <i>to have</i>                                                | 102-104            | 6-8            |
| Оборот <i>there+be</i>                                                                                    | 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/**have you**?

B: No. You didn't leave it in the car, **did you**/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 deine 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».*

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»:*

35-44 балла (80-100%) - оценка «отлично»;

29-34 балла (65-79%) - оценка «хорошо»;

22-28 баллов (50-64%) - оценка «удовлетворительно»;

0-21 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно».



**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:

***15.03.04 Автоматизация технологических процессов и  
производств***

Профиль

***Автоматизация технологических процессов и производств  
в горной промышленности***

Выполнил: Иванов Иван Иванович  
Группа АТПП-22

Преподаватель: Петров Петр Петрович,  
к.т.н, доцент

**Екатеринбург  
2022**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



Проректор по учебно-методическому комплексу  
**УТВЕРЖДАЮ**  
С.А.Упоров  
13.10.2021 г.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

### Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление подготовки

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

Профиль

**Автоматизация технологических процессов и производств  
в горной промышленности**

год набора: 2022

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры  
Иностранных языков и деловой  
коммуникации  
*(название кафедры)*

Зав.кафедрой

*(подпись)*

к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 1 от 28.09.2021 г.

*(Дата)*

Рассмотрена методической комиссией

горно-механического факультета

*(название факультета)*

Председатель

*(подпись)*

Осипов П.А.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 2 от 12.10.2021 г.

*(Дата)*

Екатеринбург

## 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:**

|                                      |                                                     |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>родственник</b>                   | relative, relation                                  |
| <b>родители</b>                      | parents                                             |
| <b>мать (мама)</b>                   | mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)           |
| <b>отец (папа)</b>                   | father (dad, daddy, papa, pa)                       |
| <b>жена</b>                          | wife                                                |
| <b>муж</b>                           | husband                                             |
| <b>супруг(а)</b>                     | spouse                                              |
| <b>ребенок, дети</b>                 | child, children                                     |
| <b>дочь</b>                          | daughter                                            |
| <b>сын</b>                           | son                                                 |
| <b>сестра</b>                        | sister                                              |
| <b>брат</b>                          | brother                                             |
| <b>единственный ребенок</b>          | only child                                          |
| <b>близнец</b>                       | twin                                                |
| <b>близнецы, двойняшки</b>           | twins                                               |
| <b>брат-близнец</b>                  | twin brother                                        |
| <b>сестра-близнец</b>                | twin sister                                         |
| <b>однойцевые близнецы</b>           | identical twins                                     |
| <b>тройняшки</b>                     | triplets                                            |
| <b>бабушка и дедушка</b>             | grandparents                                        |
| <b>бабушка</b>                       | grandmother (grandma, granny, grandmamma)           |
| <b>дедушка</b>                       | grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad) |
| <b>внуки</b>                         | grandchildren                                       |
| <b>внучка</b>                        | granddaughter                                       |
| <b>внук</b>                          | grandson                                            |
| <b>прабабушка</b>                    | great-grandmother                                   |
| <b>прадедушка</b>                    | great-grandfather                                   |
| <b>прабабушка и прадедушка</b>       | great-grandparents                                  |
| <b>правнуки</b>                      | great-grandchildren                                 |
| <b>тётя</b>                          | aunt                                                |
| <b>дядя</b>                          | uncle                                               |
| <b>крестный (отец)</b>               | godfather                                           |
| <b>крестная (мать)</b>               | godmother                                           |
| <b>отчим, приемный отец</b>          | stepfather                                          |
| <b>мачеха, приемная мать</b>         | stepmother                                          |
| <b>сводный брат</b>                  | stepbrother                                         |
| <b>сводная сестра</b>                | stepsister                                          |
| <b>брат по одному из родителей</b>   | half-brother                                        |
| <b>сестра по одному из родителей</b> | half-sister                                         |

|                                                                     |                                  |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>приемный, усыновленный сын</b>                                   | adopted son                      |
| <b>приемная, удочеренная дочь</b>                                   | adopted daughter                 |
| <b>приемный ребенок</b>                                             | adopted child                    |
| <b>патронатная семья, приемная семья</b>                            | foster family                    |
| <b>приемный отец</b>                                                | foster father                    |
| <b>приемная мать</b>                                                | foster mother                    |
| <b>приемные родители</b>                                            | foster parents                   |
| <b>приемный сын</b>                                                 | foster son                       |
| <b>приемная дочь</b>                                                | foster daughter                  |
| <b>приемный ребенок</b>                                             | foster child                     |
| <b>неполная семья (с одним родителем)</b>                           | single-parent family             |
| <b>родня</b>                                                        | the kin, the folks               |
| <b>племянница</b>                                                   | niece                            |
| <b>племянник</b>                                                    | nephew                           |
| <b>двоюродный брат</b>                                              | cousin (male)                    |
| <b>двоюродная сестра</b>                                            | cousin (female)                  |
| <b>двоюродный брат (сестра), кузен (кузина)</b>                     | first cousin                     |
| <b>троюродный брат (сестра)</b>                                     | second cousin                    |
| <b>четвероюродный брат (сестра)</b>                                 | third cousin                     |
| <b>родня со стороны мужа или жены</b>                               | in-laws                          |
| <b>свекровь</b>                                                     | mother-in-law (husband's mother) |
| <b>свёкор</b>                                                       | father-in-law (husband's father) |
| <b>тёща</b>                                                         | mother-in-law (wife's mother)    |
| <b>тесть</b>                                                        | father-in-law (wife's father)    |
| <b>невестка, сноха</b>                                              | daughter-in-law                  |
| <b>зять</b>                                                         | son-in-law                       |
| <b>шурин, свояк, зять, деверь</b>                                   | brother-in-law                   |
| <b>свояченица, золовка, невестка</b>                                | sister-in-law                    |
| <b>семейное положение</b>                                           | marital status                   |
| <b>холостой, неженатый, незамужняя</b>                              | single                           |
| <b>женатый, замужняя</b>                                            | married                          |
| <b>брак</b>                                                         | marriage                         |
| <b>помолвка</b>                                                     | engagement                       |
| <b>помолвленный, обрученный</b>                                     | engaged                          |
| <b>развод</b>                                                       | divorce                          |
| <b>разведенный</b>                                                  | divorced                         |
| <b>бывший муж</b>                                                   | ex-husband                       |
| <b>бывшая жена</b>                                                  | ex-wife                          |
| <b>расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей</b> | separated                        |
| <b>вдова</b>                                                        | widow                            |
| <b>вдовец</b>                                                       | widower                          |
| <b>подружка, невеста</b>                                            | girlfriend                       |
| <b>друг, парень, ухажер</b>                                         | boyfriend                        |
| <b>любовник, любовница</b>                                          | lover                            |
| <b>ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный</b>                 | fiance                           |
| <b>свадьба</b>                                                      | wedding                          |
| <b>невеста на свадьбе</b>                                           | bride                            |
| <b>жених на свадьбе</b>                                             | (bride)groom                     |
| <b>медовый месяц</b>                                                | 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 падежных 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 |
|---|----|----------------|----|

| Подлежащее | Сказуемое        | Косвенное без предлога | Прямое                    | Косвенное с предлогом | Обстоятельство                  |
|------------|------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| We<br>Мы   | study<br>изучаем |                        | math<br>математику        |                       |                                 |
| He<br>Он   | gives<br>дает    | us<br>нам              | lessons<br>уроки          |                       | in this room.<br>в этой комнате |
| She<br>Она | reads<br>читает  |                        | her notes<br>свои заметки | to Peter<br>Петру     | every day.<br>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 смысловая 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 переводиться 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.* Раннее 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  | <b>personal</b>                | личные                         |
| 2  | <b>possessive</b>              | притяжательные                 |
| 3  | <b>demonstrative</b>           | указательные                   |
| 4  | <b>indefinite and negative</b> | неопределенные и отрицательные |
| 5  | <b>quantifiers</b>             | количественные                 |
| 6  | <b>reflexive</b>               | возвратные                     |
| 7  | <b>reciprocal</b>              | взаимные                       |
| 8  | <b>relative</b>                | относительные                  |
| 9  | <b>defining</b>                | определятельные                |
| 10 | <b>interrogative</b>           | вопросительные                 |

#### I. Личные (personal) местоимения

| Общий падеж |    | Объектный падеж |           |
|-------------|----|-----------------|-----------|
| <b>I</b>    | я  | <b>me</b>       | мне, меня |
| <b>he</b>   | он | <b>him</b>      | его, ему  |

|                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                    |             |                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>she</b>                                                                                                                                                                                                                             | она                                                                                                                | <b>her</b>  | ей, о ней                                                                                            |
| <b>it</b>                                                                                                                                                                                                                              | оно, это                                                                                                           | <b>it</b>   | ей, ему, этому                                                                                       |
| <b>we</b>                                                                                                                                                                                                                              | мы                                                                                                                 | <b>us</b>   | нам, нас                                                                                             |
| <b>they</b>                                                                                                                                                                                                                            | они                                                                                                                | <b>them</b> | им, их                                                                                               |
| <b>you</b>                                                                                                                                                                                                                             | ты, вы                                                                                                             | <b>you</b>  | тебе, вам                                                                                            |
| <p><b>Внимание! He (он) и she (она)</b> в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – <b>it</b> (оно, это).</p> |                                                                                                                    |             |                                                                                                      |
| <b>he</b>                                                                                                                                                                                                                              | <b>she</b>                                                                                                         |             | <b>it</b>                                                                                            |
| a boy – мальчик<br>a man – мужчина<br>brother – брат<br>father – отец<br>Nick – Николай<br>Mr Grey – мистер Грей                                                                                                                       | a girl – девочка<br>a woman – женщина<br>sister – сестра<br>mother – мама<br>Kate – Катя<br>Mrs Grey – миссис Грей |             | a cat – кот<br>a wall – стена<br>rain – дождь<br>love – любовь<br>a hand – рука<br>an apple – яблоко |

Англичане говорят **It's me**, 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                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I</b> – я<br><b>he</b> – он<br><b>she</b> – она<br><b>it</b> – оно, это<br><b>we</b> – мы<br><b>you</b> – ты, вы<br><b>they</b> – они | <b>my (toy)</b> - моя (игрушка)<br><b>his (toy)</b> - его (игрушка)<br><b>her (toy)</b> - ее (игрушка)<br><b>its (toy)</b> - его (не о человеке)<br><b>our (toy)</b> - наша (игрушка)<br><b>your (toy)</b> - ваша, твоя (игрушка)<br><b>their (toy)</b> - их (игрушка) | <b>his</b> - его<br><b>hers</b> - ее<br><b>its</b> - его (этого)<br><b>ours</b> - наша<br><b>yours</b> - ваша, твоя<br><b>theirs</b> - 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/I have got three apples.** У меня есть 3 яблока,

• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/I 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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 |                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------|
| <b>any</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 | <b>anything</b> - что-то, что-нибудь         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>thing</b>    |                                              |
| <b>no</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                 | <b>nothing</b> - ничего, ничто               |
| <b>every</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                 | <b>everything</b> - все                      |
| <b>Body/one - для одушевленных (кто-то):</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                 |                                              |
| <b>some</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                 | <b>somebody/someone</b> – кто-то, кто-нибудь |
| <b>any</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 | <b>anybody/anyone</b> - кто-то, кто-нибудь   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>body/one</b> |                                              |
| <b>no</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                 | <b>nobody / no one</b> - никого, никто       |
| <b>every</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                 | <b>everybody / everyone</b> – все, каждый    |
| <p>Местоимение <b>some</b> и основа <b>body</b> должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо <b>somebody</b> – кто-то, получится <b>some body</b> - какое-то тело,<br/> <b>Something/somebody/someone</b> - в утвердительных предложениях, <b>anything/anybody/anyone</b> - в отрицательных и вопросительных предложениях, <b>nothing/nobody/no one</b> – в отрицательных.<br/> <b>Anything/anybody/anyone</b> - также используются в утвердительных предложениях, но в значении <i>что угодно/кто угодно</i></p> |                 |                                              |

|                                            |                              |
|--------------------------------------------|------------------------------|
| <b>somewhere</b> - где-нибудь, куда-нибудь | <b>anywhere</b> - где угодно |
| <b>nowhere</b> - нигде                     | <b>everywhere</b> - везде    |

#### V. Количественные (quantifiers) местоимения

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Many</b> и <b>much</b> - оба слова обозначают “ много”, С <b>исчисляемыми</b> существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово <b>many</b>, а с <b>неисчисляемыми</b> - слово <b>much</b>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                              |
| <p><b>many girls</b> - много девочек<br/> <b>many boys</b> - много мальчиков<br/> <b>many books</b> - много книжек</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p><b>much snow</b> - много снега<br/> <b>much money</b> - много денег<br/> <b>much time</b> - много времени</p>                             |
| <p><b>How many?</b> } сколько?<br/> <b>How much?</b> }</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p><b>How many girls?</b> - Сколько девочек?<br/> <b>How much sugar?</b> - Сколько сахара?<br/> <b>How much sugar?</b> - Сколько сахара?</p> |
| <p><b>a lot of...</b> - много - используется и с <b>исчисляемыми</b>, girls – много девочек<br/> и с <b>неисчисляемыми</b> существительными <b>a lot of</b><br/> <b>a lot</b> без (of) используется и без существительного. sugar - много сахара<br/> <b>Сравните:</b> He writes <b>a lot of</b> funny stories. Он пишет много забавных рассказов.<br/> He writes <b>a lot</b>. Он много пишет.</p>                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                              |
| <p style="text-align: center;"><u>В утвердительных</u> предложениях используйте <b>a lot of</b>.<br/> <u>В отрицательных</u> и в вопросительных <b>many/much</b>,</p> <p style="text-align: center;"><b>Сравните:</b></p> <p>(+) My grandmother often cooks <b>a lot of</b> tasty things. Моя бабушка часто готовит много вкусного.<br/> (-) But we don't eat <b>much</b>. Но мы не едим много. (?) Do you eat much? Вы много едите?<br/> Иногда слова <b>much</b> и <b>a lot</b> являются синонимами слова “<b>часто</b>”:<br/> Do you ski <b>much</b>? Вы много (часто) катаетесь на лыжах? No, not much (= not often). Нет, не часто.</p> |                                                                                                                                              |

#### Few, little, a few, a little

С **неисчисляемыми** существительными используйте слово **little** (мало),  
а с **исчисляемыми** - **few** (мало).

|                                                                                                                |                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>few books</b> - мало книг<br/> <b>few girls</b> - мало девочек<br/> <b>few boys</b> - мало мальчиков</p> | <p><b>little time</b> - мало времени<br/> <b>little money</b> - мало денег<br/> <b>little snow</b> - мало снега</p> |
| <p><b>little</b> } мало (т.е. надо еще)</p>                                                                    | <p><b>a little</b> } немного (т.е. пока хватает)</p>                                                                |

|     |       |
|-----|-------|
| 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 each other rather friendly.** Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.

**They always help one another.** Они всегда помогают друг другу.

### VIII. Относительные (relative) местоимения

**Who (whom), whose, which, that**

|       |                                                                                                                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| who   | Именительный падеж <b>who</b> (подлежащее)<br><b>The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.</b> Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.       |
|       | Объектный падеж <b>whom</b> (дополнение)<br><b>The man <u>whom</u> I love the best is your brother.</b> Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.         |
| which | Для неодушевленных предметов и животных<br><b>The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.</b> Цветы, которые ты мне принес, очень милые.              |
| whose | Для одушевленных существительных<br><b>This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.</b> Это человек, книгу которого мы читали вчера.                        |
|       | Для неодушевленных существительных<br><b>We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.</b> Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми. |
| that  | Для одушевленных существительных<br><b>This is the man <u>that</u> we saw yesterday.</b> Это мужчина, которого мы видели вчера.                                     |
|       | Для неодушевленных существительных<br><b>This is the film <u>that</u> we saw yesterday.</b> Это фильм, который мы видели вчера.                                     |

**IX. Определительные (defining) местоимения**

**all**

| Употребление                                                                              | Примеры                                                                    | Перевод                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| определяет неисчисляемые существительные                                                  | He spent <b>all his</b> time fishing on the lake.                          | Он провел все свое время, ловя рыбу на озере. |
| определяет исчисляемые существительные                                                    | <b>All the</b> boys like football.<br>(the после all!)                     | Все мальчишки любят футбол.                   |
| <b>all = everything</b>                                                                   | I know <b>all/everything</b> .                                             | Я знаю всё.                                   |
| <b>all = everybody</b>                                                                    | <b>All</b> were hungry.<br><b>Everybody</b> was hungry.                    | Все были голодны.<br>Все были голодны.        |
| <b>we all = ail of us</b><br><b>you all = all of you</b><br><b>they all = ail of them</b> | We <b>all</b> love you very much =<br><b>All</b> of us love you very much. | Мы все тебя очень любим                       |

**both**

| Употребление                                                                 | Примеры                                                                   | Перевод                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| определяет существительные                                                   | <b>Both (the/my) friends</b> like football.                               | Оба моих друга любят футбол                                       |
| допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both | <b>Both these/the men</b> are Russian.                                    | Оба (эти) мужчины - русские.                                      |
| употребляется вместо существительного                                        | <b>He gave me two apples.</b><br><b>Both</b> were sweet.                  | Он дал мне два яблока.<br>Оба были сладкими.                      |
| they both = both of them<br>you both = both of you<br>we both = both of us   | <b>They both (both of them)</b> came to visit us.                         | Они оба пришли навестить нас.                                     |
| в устойчивой конструкции <b>both...and.</b>                                  | <b>Both mother father</b> were at home                                    | И мама, и папа были дома.                                         |
| в отрицательных предложениях вместо both используется <b>neither</b>         | <b>Both of them</b> know English.<br><b>Neither of them</b> know English. | Они оба знают английский.<br>Ни один из них не знает английского. |

**either/neither**

|                | Употребление                                              | Примеры                                               | Перевод                             |
|----------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>either</b>  | любой из двух (артикуль не ставится)                      | <b>I've got 2 cakes.</b><br><b>Take either cake.</b>  | У меня 2 пирожных.<br>Возьми любое. |
|                | каждый, оба, и тот, и другой                              | <b>There are windows on either side of the house.</b> | С обеих сторон дома есть окна.      |
|                | заменяет существительное (глагол в ед. числе)             | <b>Either of dogs</b> is always hungry.               | Любая из собак вечно голодная.      |
| <b>neither</b> | отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой) | <b>Neither of examples</b> is correct.                | Ни один из примеров не верен.       |
|                | в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)                       | <b>I like neither tea, nor coffee.</b>                | Я не люблю ни чай, ни кофе.         |

**other, another, the other, the others (другой, другие)**

|                  | Употребление                    | Примеры                                       | Перевод                       |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>the other</b> | другой (второй), другой из двух | <b>You've got 2 balls: one and the other.</b> | У тебя 2 мяча: один и другой. |
| <b>another</b>   | другой из многих, еще один      | <b>Take another ball.</b>                     | Возьми другой мяч.            |

|                   |                              |                                                                    |                                             |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                   |                              |                                                                    | (Любой, но не этот.)                        |
| <b>other</b>      | другие (любые), не последние | <b>Take other 2 balls.</b>                                         | Возьми другие 2 мяча.<br>(Из многих.)       |
| <b>the others</b> | другие (определенные)        | <b>There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.</b> | Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие. |

### X. Вопросительные (interrogative) местоимения

|              |           |                           |                   |
|--------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| <b>what</b>  | что       | <b>What's this?</b>       | Что это?          |
| <b>which</b> | который   | <b>Which of them?</b>     | Который из них?   |
| <b>who</b>   | кто, кого | <b>Who was that?</b>      | Кто это был?      |
| <b>whom</b>  | кого      | <b>Whom did you meet?</b> | Кого ты встретил? |
| <b>whose</b> | чей       | <b>Whose book is it?</b>  | Чья это книга?    |

### Имя существительное. The Noun

| Категории | Существительное в русском языке | Существительное в английском языке |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|
| Число     | <b>Изменяется</b>               | <b>Изменяется</b>                  |
| Падеж     | <b>Изменяется</b>               | <b>Не изменяется</b>               |

### 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 table!  
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                                    | <b>a book - books</b><br><b>a cup - cups</b>                                  | <b>книга - книги</b><br><b>чашка - чашки</b>                          |
| после звонких согласных и гласных<br>-                    | a name - names<br>a girl - girls                                              | <b>имя - имена</b><br><b>девочка - девочки</b>                        |
| после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es | a palace - palaces<br>a bush - bushes<br>a box - boxes<br>a church - churches | дворец - дворцы<br>куст - кусты<br>коробка - коробки церковь - церкви |
| слово заканчивается на -у: 1) гласная +у                  | <b>a toy - toys</b><br><b>a boy - boys</b>                                    | игрушка - игрушки мальчик - мальчики                                  |

|                                     |                                                        |                                                  |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 2) согласная + у                    | <b>a family - families</b><br><b>a story - stories</b> | <b>семья - семьи</b><br><b>история - истории</b> |
| слово заканчивается на <i>-file</i> | <b>a leaf - leaves</b><br><b>a shelf - shelves</b>     | лист - листья<br>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                 |
| <b>ox</b>    | oxen      | <b>бык - быки</b>           |
| <b>tooth</b> | teeth     | <b>зуб - зубы</b>           |

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 than that one - Этот стол больше, чем тот (стол).

These tables are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

|                                                                                                  |                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Со словами one/ones может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.</b> |                                                                                             |
| <b>What apple do you want?</b><br>Какое ты хочешь яблоко?<br><b>The red one. Красное.</b>        | <b>What apples do you want?</b><br>Какие яблоки ты хочешь?<br><b>The red ones. Красные.</b> |

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. .              | I can see a little girl.       |
| Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.          | I like to play with this girl. |
| П. п. Я часто думаю об этой девочке.           | I often think about this girl. |

Притяжательный падеж. The Possessive Case

Образование притяжательного падежа

|                                                            | Образование | Примеры                                         | Перевод                         |
|------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| существительные в единственном числе                       | 's          | <b>bird's house</b><br><b>child's ball</b>      | домик птички<br>мячик ребенка   |
| существительные во множественном числе (группа исключений) | 's          | <b>children's ball</b><br><b>women's rights</b> | мячик детей<br>права женщин     |
| существительное во множественном числе                     | '           | <b>girls' toy</b><br><b>birds' house</b>        | игрушка девочек<br>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 ball - 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**, **much**, **plenty of**, **too little** 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 **is/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

Упомянув объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном 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!<br>What a surprise! |

|                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                      | Such a fine room!                                                                                                                                                                                                                                         |
| вместо слова один                                                                                                                                                                                                    | She is coming for a weak.                                                                                                                                                                                                                                 |
| в определенных конструкциях<br>there is a...<br>I have a...<br>he has a...<br>I see a...<br>this is a...<br>that is a...<br>It is a...<br>I am a...<br>he/she is a...                                                | There is a book here.<br>I have got a nice coat.<br>He has a kind smile.<br>I see a wolf.<br>This is a dog.<br>That is a doctor.<br>It is a red pen.<br>I am a good swimmer.<br>He/she is a tourist                                                       |
| в ряде устойчивых словосочетаний<br>at a quarter...<br>in a loud, (a low, an angry voice)<br>to have a good time<br>a lot of<br>to go for a walk<br>such a...<br>after a while<br>in a day (a month, a week, a year) | Come at a quarter to 8.<br>Don't speak to him in an angry voice.<br>We had a good time in the country.<br>She has got a lot of presents.<br>Let's go for a walk.<br>He is such a clever boy.<br>You'll see them after a while.<br>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<br>the main road<br>to the left, to the right<br>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<br>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<br>the Sesame 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<br>Changing of the Guard                                     |

#### **Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний**

|                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| in the middle, in the corner<br>in the morning, In the evening, in the afternoon<br>what's the use?<br>to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market | The table is in the middle of the room.<br>I never drink coffee in the evening.<br>What's the use of going there so late?<br>Do you like going to the theatre?<br>He works at the shop. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                              |                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market<br>the fact is (was) that...<br>where is the...?<br>in the country, to the country | The fact is that I have no money at all.<br>Where is the doctor?<br>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<br>a dog - his dog<br>the teacher - our teacher<br>the apple - her apple                                            |
| если перед существительным стоит указательное местоимение                | the cats - those cats<br>the books - these books<br>a mouse - this mouse                                                           |
| если стоит другое существительное в притяжательном падеже                | a car - father's car<br>the horse - farmer's horse<br>a bike - brother's bike<br>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.<br>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.<br>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 Netherlands, 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 вопросах was/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                    |
|-------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| There was<br>There were | Полная форма<br>There was not<br>There were not | Краткая форма<br>There wasn't<br>There weren't | Was there?<br>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<br>I have (got) | Краткая форма<br>I've (got) | Полная форма<br>I have not (got) | Краткая форма<br>I haven't (got) | Have I (got)?   |
| You have (got)               | You've (got)                | You have not (got)               | You haven't (got)                | Have you (got)? |
| He has (got)                 | He's (got)                  | He has not (got)                 | He hasn't (got)                  | Has he (got)?   |
| She has (got)                | She's (got)                 | She has not (got)                | She hasn't (got)                 | Has she (got)?  |
| It has (got)                 | It's (got)                  | It has not (got)                 | It hasn't (got)                  | Has it (got)?   |
| We have (got)                | We've (got)                 | We have not (got)                | We haven't (got)                 | Have we (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         |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| I had       | Полная форма<br>I did not have | Краткая форма<br>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 |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Число</b> | изменяется                     | не изменяется                     |
| <b>Род</b>   | изменяется                     | не изменяется                     |
| <b>Падеж</b> | 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   | useful<br>doubtful  | полезный<br>сомневающийся  |
| - less  | helpless<br>useless | беспомощный<br>бесполезный |
| - ous   | famous<br>dangerous | известный<br>опасный       |
| - al    | formal<br>central   | формальный<br>центральный  |
| - able  | eatable<br>capable  | съедобный<br>способный     |

### Приставочный способ образования имен прилагательных

| Приставка    | Пример                                   | Перевод                                        |
|--------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>un -</b>  | <b>uncooked</b><br><b>unimaginable</b>   | <b>невареный</b><br><b>невообразимый</b>       |
| <b>in -</b>  | <b>incapable</b><br><b>inhuman</b>       | <b>неспособный</b><br><b>негуманный</b>        |
| <b>il -</b>  | <b>illegal</b><br><b>illiberal</b>       | <b>нелегальный</b><br><b>необразованный</b>    |
| <b>im -</b>  | <b>impossible</b><br><b>impractical</b>  | <b>невозможный</b><br><b>непрактичный</b>      |
| <b>dis -</b> | <b>dishonest</b><br><b>disagreeable</b>  | <b>бесчестный</b><br><b>неприятный</b>         |
| <b>ir -</b>  | <b>irregular</b><br><b>irresponsible</b> | <b>неправильный</b><br><b>безответственный</b> |

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                                                            |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Описывают чувства и состояния</b>                 | <b>Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства</b> |
| <b>interested</b> – интересующийся, заинтересованный | <b>interesting</b> - интересный                                  |
| <b>bored</b> - скучающий                             | <b>boring</b> - скучный                                          |
| <b>surprised</b> - удивленный                        | <b>surprising</b> - 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                |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>cold</b> - холодный | <b>colder</b> - холоднее | <b>the coldest</b> - самый холодный |
| <b>big</b> - большой   | <b>bigger</b> - больше   | <b>the biggest</b> - самый большой  |
| <b>kind</b> - добрый   | <b>kinder</b> - добрее   | <b>the kindest</b> - самый добрый   |

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble**:

| Положительная степень | Сравнительная степень | Превосходная степень |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|-----------------------|-----------------------|----------------------|

|                                                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>clever</b> — умный<br><b>easy</b> - простой<br><b>able</b> - способный<br><b>busy</b> - занятой | <b>cleverer</b> - умнее<br><b>easier</b> - проще<br><b>abler</b> - способнее<br><b>busier</b> - более занятой | <b>the cleverest</b> - самый умный<br><b>the easiest</b> - самый простой<br><b>the ablest</b> - самый способный<br><b>the busiest</b> - 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:

**large** – **larger** - **the largest** / большой – больше – самый большой  
**brave** – **braver** – **the bravest** / 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** – **bigger** – **biggest** / большой – больше – самый большой  
**hot** – **hotter** – **hottest** / горячий – горячее – самый горячий  
**thin** – **thinner** – **thinnest** / тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное заканчивается на “**y**” с предшествующей согласной, то в сравнительной и превосходной степени “**y**” переходит в “**i**”:

**busy** – **busier** – **busiest** / занятой – более занятой – самый занятой  
**easy** – **easier** – **easiest** / 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                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>beautiful</b> - красивый<br><b>interesting</b> – интересный<br><b>important</b> - важный | <b>more beautiful</b> - красивее<br><b>more interesting</b> - интереснее<br><b>more important</b> - важнее | <b>the most beautiful</b> - самый красивый<br><b>the most interesting</b> - самый интересный<br><b>the most important</b> - самый важный |

### Особые формы

| Положительная степень                                                                                                                                       | Сравнительная степень                                                                                                                                          | Превосходная степень                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>good</b> - хороший<br><b>bad</b> - плохой<br><b>little</b> - маленький<br><b>much/many</b> - много<br><b>far</b> - далекий/далеко<br><b>old</b> - старый | <b>better</b> - лучше<br><b>worse</b> - хуже<br><b>less</b> - меньше<br><b>more</b> - больше<br><b>farther/further</b> - дальше<br><b>older/elder</b> - старше | <b>the best</b> - самый лучший<br><b>the worst</b> - самый плохой<br><b>the least</b> - самый маленький, меньше всего<br><b>the most</b> - больше всего<br><b>the farthest/furthest</b> - самый дальний<br><b>the oldest/eldest</b> - 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                          |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>beautiful</b> – красивый<br><b>interesting</b> - интересный | <b>less beautiful</b> - менее красивый | <b>the least beautiful</b> – самый некрасивый |

|                           |                                                                                    |                                                                                                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>important</b> - важный | <b>less interesting</b> – менее интересный<br><b>less important</b> - менее важный | <b>the least interesting</b> – самый неинтересный<br><b>the least important</b> – самый неважный |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### Другие средства сравнения двух предметов или лиц

| Конструкция                                         | Комментарий                                       | Примеры                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>As...as</b> (такой же, так же)                   | Для сравнения двух объектов одинакового качества  | He is <b>as</b> strong <b>as</b> a lion.<br>Он такой же сильный, как лев.<br>She is <b>as</b> clever <b>as</b> an owl.<br>Она такая же умная, как сова.                                                                                                          |
| <b>Not so...as</b> (не такой, как)                  | в отрицательных предложениях                      | He is <b>not so</b> strong <b>as</b> a lion.<br>Он не такой сильный, как лев.<br>She is <b>not so</b> clever <b>as</b> an owl.<br>Она не такая умная, как сова.                                                                                                  |
| <b>The...the</b> (с двумя сравнительными степенями) | показывает зависимость одного действия от другого | <b>The more</b> we are together <b>the happier</b> we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся.<br><b>The more</b> I learn this rule <b>the less</b> I understand it.<br>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. Ноль 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, ноль 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**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Mining University</b> – Горный университет;<br/> <b>higher educational institution</b> - высшее учебное заведение;<br/> <b>to provide</b> - зд. предоставлять;<br/> <b>full-time education</b> - очное образование;<br/> <b>extramural education</b> - заочное образование;<br/> <b>to award</b> – награждать;<br/> <b>post-graduate courses</b> – аспирантура;</p>                                          | <p><b>scientific research centre</b> - центр научных исследований;<br/> <b>master of science</b> - кандидат наук;<br/> <b>capable</b> – способный;<br/> <b>to take part in</b> - принимать участие;<br/> <b>graduate</b> – выпускник;<br/> <b>to dedicate</b> – посвящать;<br/> <b>to carry out scientific work</b> - выполнять научную работу;</p>                                                                        |
| <p><b>Faculty of Mining Technology</b> - горно – технологический;<br/> <b>Faculty of Engineering and Economics</b> - инженерно-экономический;<br/> <b>Institute of World Economics</b> – Институт мировой экономики;<br/> <b>Faculty of Mining Mechanics</b> - горно-механический;<br/> <b>Faculty of Civil Protection</b> – гражданской защиты;<br/> <b>Faculty of City Economy</b> – городского хозяйства;</p>   | <p><b>Faculty of Geology &amp; Geophysics</b> – геологии и геофизики;<br/> <b>Faculty of extramural education</b> – заочный;<br/> <b>department</b> – кафедра;<br/> <b>dean</b> – декан;<br/> <b>to train specialists in</b> - готовить специалистов;<br/> <b>to consist of</b> - состоять из;<br/> <b>preparatory</b> – подготовительный;<br/> <b>additional</b> – дополнительный;<br/> <b>to offer</b> – предлагать;</p> |
| <p><b>to house</b> - размещать /ся/;<br/> <b>building</b> – здание;<br/> <b>Rector’s office</b> – ректорат;<br/> <b>Dean’s office</b> – деканат;<br/> <b>department</b> – кафедра;<br/> <b>library</b> – библиотека;<br/> <b>reading hall</b> - читальный зал;<br/> <b>assembly hall</b> - актовый зал;<br/> <b>layout</b> - расположение, план;<br/> <b>administrative offices</b> - административные отделы;</p> | <p><b>computation centre</b> - вычислительный центр;<br/> <b>canteen</b> – столовая;<br/> <b>to have meals</b> – питаться;<br/> <b>hostel</b> – общежитие;<br/> <b>to go in for sports</b> - заниматься спортом;<br/> <b>wrestling</b> – борьба;<br/> <b>weight lifting</b> - тяжелая атлетика;<br/> <b>skiing</b> - катание на лыжах;<br/> <b>skating</b> - катание на коньках;<br/> <b>chess</b> – шахматы;</p>          |
| <p><b>academic work</b> - учебный процесс;<br/> <b>academic year</b> - учебный год;<br/> <b>to consist of</b> - состоять из;<br/> <b>bachelor's degree</b> - степень бакалавра;</p>                                                                                                                                                                                                                                | <p><b>general geology</b> - общая геология;<br/> <b>foreign language</b> - иностранный язык;<br/> <b>to operate a computer</b> - работать на компьютере;</p>                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>course of studies</b> - курс обучения;<br/> <b>to last</b> - длиться;<br/> <b>term</b> - семестр;<br/> <b>to attend lectures and classes</b> - посещать лекции и занятия;<br/> <b>period</b> - пара, 2 – х часовое занятие;<br/> <b>break</b> - перерыв;<br/> <b>subject</b> - предмет;<br/> <b>descriptive geometry</b> - начертательная геометрия;</p> | <p><b>to take a test (an exam)</b> - сдавать зачет, экзамен;<br/> <b>to pass a test (an exam)</b> - сдать зачет, экзамен;<br/> <b>to fail a test (an exam)</b> - не сдать зачет, экзамен;<br/> <b>to fail in chemistry</b> - не сдать химию;<br/> <b>holidays, vacations</b> - каникулы;<br/> <b>to present graduation paper</b> - представлять дипломные работы;<br/> <b>for approval</b> - к защите;</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*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 нефтегазопромисловых 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 of industrial units and technological complexes - электропривод 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 методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration of mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration of underground waters and engineering - геологическая разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петрология 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 Mining 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 of 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 hall, 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 / 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. действия, 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 book 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. Billy 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/have known** 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 (shorter 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 play yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to play.)

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. (Сейчас 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:... while 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 early earthquake 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. In 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, фитнес 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 our 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 days in 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

| <u>Глаголы</u>         | <u>Значение</u>                                    | <u>Примеры</u>                                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CAN</b>             | 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<br>вежливая просьба                     | Can we go home? — Нам можно пойти домой?<br>Could you <a href="#">tell me</a> what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час? |
| <b>MAY</b>             | 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 <b>MIGHT (+ perfect infinitive)</b> | You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.                                                                                           |
| <b>MUST</b>            | 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.                                                         |
| <b>SHOULD OUGHT TO</b> | 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 <a href="#">зонт</a> .                                                           |
| <b>SHALL</b>           | 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?                              |
| <b>WILL</b>    | готовность, нежелание/отказ      | The door won't open. — Дверь не открывается.                              |
|                | вежливая просьба                 | Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?                          |
| <b>WOULD</b>   | 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.                          |
| <b>NEED</b>    | необходимость                    | Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?                |
| <b>NEEDN'T</b> | отсутствие необходимости         | She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.                            |
| <b>DARE</b>    | Посметь                          | How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?                    |

#### Модальные единицы эквивалентного типа

|                                           |                                                                                            |                                                                                                           |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>to be able (to) = can</b>              | Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент                                     | She <b>was able</b> to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию). |
| <b>to be allowed (to) = may</b>           | Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения               | My sister <b>is allowed to</b> play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).                  |
| <b>to have (to) = ought, must, should</b> | Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах               | They <b>will have to</b> set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).                 |
| <b>to be (to) = ought, must, should</b>   | Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д. | We <b>are to</b> 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 приходиться, to fly летать, to 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 технических 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 <b>can speak</b> French – Он говорит по-французски.                                                | Boris said that he <b>could speak</b> French – Борис сказал, что он говорит по-французски.                                                            |
| Present Continuous » Past Continuous | They <b>are listening</b> to him – Они слушают его                                                    | I <b>thought they were listening</b> to him – Я думал, они слушают его.                                                                               |
| Present Perfect » Past Perfect       | Our teacher <b>has asked</b> my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему. | Mary <b>told</b> me that our teacher <b>had asked</b> my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему. |

|                                                      |                                                              |                                                                                                   |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Past Simple » Past Perfect                           | I <b>invited</b> her – Я пригласил ее.                       | Peter <b>didn't know</b> that I <b>had invited</b> her – Петр не знал, что я пригласил ее.        |
| Past Continuous » Past Perfect Continuous            | She <b>was crying</b> – Она плакала                          | John <b>said</b> that she <b>had been crying</b> – Джон сказал, что она плакала.                  |
| Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous | It <b>has been raining</b> for an hour – Дождь идет уже час. | He <b>said</b> that it <b>had been raining</b> for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.    |
| Future Simple » Future in the Past                   | She <b>will show</b> us the map – Она покажет нам карту.     | I <b>didn't expect</b> she <b>would show</b> 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 можем 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* алевроит

**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; *pl* **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; **hypabyssal** - *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; **finer** - *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* sill, пластовая интрузия

**stock** - *n* штوك, небольшой батолит

**vein** - *n* жила, прожилок, пропласток

**band** - *n* слой; полоса; прослойка (*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 (*машинной*); 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* изготавливать, 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; **folding** - *n* складчатость, смешение (*пласта*) без разрыва  
**inflare** - *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* прослойка  
**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 (*руды*); выплавлять (*металл*)  
**store** - *v* запасать, хранить на складе; вмещать  
**strata** - *n pl om 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**;  
 засеивать, 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** - *l* почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

**govern** - *v* править, управлять; руководить; определять, обуславливать

**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* удовлетворять(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 ~*

**hydraulicling** - *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** ~ шламный насос; *v* качать; накачивать; откачивать

**reclamation** - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка (*после открытых работ*)

**sidecasting** - *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; обрушаться

**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* подъемная 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 and 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, Kazakhstan, 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 <b>to speak</b> to you.              | Рад поговорить с вами.<br>(Всегда радуюсь, когда говорю с вами). |
| Continuous         | I am glad <b>to be speaking</b> to you.        | Рад, что сейчас разговариваю с вами.                             |
| Perfect            | I am glad <b>to have spoken</b> to you.        | Рад, что поговорил с вами.                                       |
| Perfect Continuous | I am glad <b>to have been speaking</b> to you. | Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.          |
| Simple Passive     | I am (always) glad <b>to be told</b> the news. | Всегда рад, когда мне рассказывают новости.                      |

|                 |                                              |                                  |
|-----------------|----------------------------------------------|----------------------------------|
| Perfect Passive | I am glad <b>to have been told</b> 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<br>(Present Participle) | Simple  | <b>writing</b>          | <b>being written</b>       |
|                                      | Perfect | <b>having written</b>   | <b>having been written</b> |
| Participle II (Past Participle)      |         |                         | <b>written</b>             |

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    | строая             |
| 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  | <b>writing</b>          | <b>being written</b>       |
| Perfect | <b>having written</b>   | <b>having been written</b> |

**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/about** ...*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 *if*. *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<br>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<br>real present   | if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous                                                                                                                       | future/imperative<br>can/may/might/must/should/<br>could + bare infinitive | real - likely to happen in the present or future |
|                          | If he doesn't pay the fine, he will go to prison.<br>If you need help, come and see me.<br>If you have finished your work, we can have a break.<br>If you're ever in the area, you should come and visit us. |                                                                            |                                                  |
| Type 2<br>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.<br>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 have 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

13.10.2021 г.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление подготовки

***15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств***

Профиль

***Автоматизация технологических процессов и производств  
в горной промышленности***

год набора: 2022

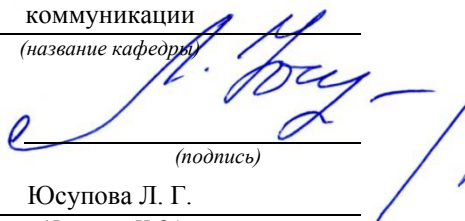
Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры

Иностранных языков и деловой  
коммуникации

(название кафедры)

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Юсупова Л. Г.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 28.09.2021 г.

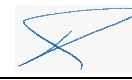
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

горно-механического факультета

(название факультета)

Председатель

  
(подпись)

Осипов П.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 12.10.2021 г.

(Дата)

Екатеринбург

## 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 days in 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 and 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, Kazakhstan, 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*, оборот *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

| <i>Название темы</i>                                                                                      | <i>Страницы учебников</i> |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                                                                                                           | <i>Агабекян И. П.</i>     | <i>Журавлева Р.И.</i> |
| 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 <i>to be</i> и <i>to have</i> | 102-104 | 6-8        |
| Оборот <i>there+be</i>                                     | 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 падежных 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:

| <b>I</b>          | <b>II</b>        | <b>III Дополнение</b>         |                           |                              | <b>IV</b>                       |
|-------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <b>Подлежащее</b> | <b>Сказуемое</b> | <b>Косвенное без предлога</b> | <b>Прямое</b>             | <b>Косвенное с предлогом</b> | <b>Обстоятельство</b>           |
| We<br>Мы          | study<br>изучаем |                               | math<br>математику        |                              |                                 |
| He<br>Он          | gives<br>дает    | us<br>нам                     | lessons<br>уроки          |                              | in this room.<br>в этой комнате |
| She<br>Она        | reads<br>читает  |                               | her notes<br>свои заметки | to Peter<br>Петру            | every day.<br>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 переводиться 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. Раннее 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  | <b>personal</b>                | личные                         |
| 2  | <b>possessive</b>              | притяжательные                 |
| 3  | <b>demonstrative</b>           | указательные                   |
| 4  | <b>indefinite and negative</b> | неопределенные и отрицательные |
| 5  | <b>quantifiers</b>             | количественные                 |
| 6  | <b>reflexive</b>               | возвратные                     |
| 7  | <b>reciprocal</b>              | взаимные                       |
| 8  | <b>relative</b>                | относительные                  |
| 9  | <b>defining</b>                | определятельные                |
| 10 | <b>interrogative</b>           | вопросительные                 |

#### I. Личные (personal) местоимения

| Общий падеж |          | Объектный падеж |                |
|-------------|----------|-----------------|----------------|
| <b>I</b>    | я        | <b>me</b>       | мне, меня      |
| <b>he</b>   | он       | <b>him</b>      | его, ему       |
| <b>she</b>  | она      | <b>her</b>      | ей, о ней      |
| <b>it</b>   | ОНО, ЭТО | <b>it</b>       | ей, ему, этому |
| <b>we</b>   | мы       | <b>us</b>       | нам, нас       |

|                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>they</b>                                                                                                                                                                                                              | ОНИ                                                                                                                                                          | <b>them</b>                                                                                                                                    | ИМ, ИХ    |
| <b>you</b>                                                                                                                                                                                                               | ТЫ, ВЫ                                                                                                                                                       | <b>you</b>                                                                                                                                     | ТЕБЕ, ВАМ |
| <b>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).</b> |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                |           |
| <b>he</b>                                                                                                                                                                                                                | <b>she</b>                                                                                                                                                   | <b>it</b>                                                                                                                                      |           |
| <b>a boy</b> – мальчик<br><b>a man</b> – мужчина<br><b>brother</b> – брат<br><b>father</b> – отец<br><b>Nick</b> – Николай<br><b>Mr Grey</b> – мистер Грей                                                               | <b>a girl</b> – девочка<br><b>a woman</b> – женщина<br><b>sister</b> – сестра<br><b>mother</b> – мама<br><b>Kate</b> – Катя<br><b>Mrs Grey</b> – миссис Грей | <b>a cat</b> – кот<br><b>a wall</b> – стена<br><b>rain</b> – дождь<br><b>love</b> – любовь<br><b>a hand</b> – рука<br><b>an apple</b> - яблоко |           |

Англичане говорят **It's me**, 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          |
|----------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| <b>I</b> – я         | <b>my (toy)</b> - моя (игрушка)          | <b>his</b> - его          |
| <b>he</b> – он       | <b>his (toy)</b> - его (игрушка)         | <b>hers</b> - ее          |
| <b>she</b> – она     | <b>her (toy)</b> - ее (игрушка)          | <b>its</b> - его (этого)  |
| <b>it</b> – оно, это | <b>its (toy)</b> - его (не о человеке)   | <b>ours</b> - наша        |
| <b>we</b> – мы       | <b>our (toy)</b> - наша (игрушка)        | <b>yours</b> - ваша, твоя |
| <b>you</b> – ты, вы  | <b>your (toy)</b> - ваша, твоя (игрушка) | <b>theirs</b> - их        |
| <b>they</b> - они    | <b>their (toy)</b> - их (игрушка)        |                           |

### 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/I have got three apples.** У меня есть 3 яблока,

• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/I 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**

**any**

**no**

**thing**

**something** – что-то, что-нибудь

**anything** - что-то, что-нибудь

**nothing** - ничего, ничто

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>every</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>everything - все</b>                                                                      |
| <b>some</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Body/one - для одушевленных (кто-то):</b><br><b>somebody/someone – кто-то, кто-нибудь</b> |
| <b>any</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>anybody/anyone - кто-то, кто-нибудь</b>                                                   |
| <b>no</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>nobody / no one - никого, никто</b>                                                       |
| <b>every</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>everybody /everyone – все, каждый</b>                                                     |
| <p>Местоимение <b>some</b> и основа <b>body</b> должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо <b>somebody</b> – <i>кто-то</i>, получится <b>some body</b> - <i>какое-то тело</i>,<br/> <b>Something/somebody/someone</b> - в утвердительных предложениях, <b>anything/anybody/anyone</b> - в отрицательных и вопросительных предложениях, <b>nothing/nobody/no one</b> – в отрицательных.<br/> <b>Anything/anybody/anyone</b> - также используются в утвердительных предложениях, но в значении <i>что угодно/кто угодно</i></p> |                                                                                              |

|                                            |                              |
|--------------------------------------------|------------------------------|
| <b>somewhere - где-нибудь, куда-нибудь</b> | <b>anywhere - где угодно</b> |
| <b>nowhere - нигде</b>                     | <b>everywhere - везде</b>    |

### V. Количественные (quantifiers) местоимения

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Many и much</b> - оба слова обозначают “ много”, С <b>исчисляемыми</b> существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово <b>many</b>, а с <b>неисчисляемыми</b> - слово <b>much</b>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                              |
| <p><b>many girls - много девочек</b><br/> <b>many boys - много мальчиков</b><br/> <b>many books - много книжек</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p><b>much snow - много снега</b><br/> <b>much money - много денег</b><br/> <b>much time - много времени</b></p>                             |
| <p><b>How many?</b> } сколько?<br/> <b>How much?</b> }</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p><b>How many girls?</b> - Сколько девочек?<br/> <b>How much sugar?</b> - Сколько сахара?<br/> <b>How much sugar?</b> - Сколько сахара?</p> |
| <p><b>a lot of...</b> - много - используется и с исчисляемыми, и с неисчисляемыми существительными<br/> <b>a lot</b> без (of) используется и без существительного.<br/> <b>Сравните:</b> He writes <b>a lot of</b> funny stories. <i>Он пишет много забавных рассказов.</i><br/> He writes <b>a lot</b>. <i>Он много пишет.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                              |
| <p><u>В утвердительных</u> предложениях используйте <b>a lot of</b>.<br/> <u>В отрицательных</u> и в вопросительных <b>many/much</b>,<br/> <b>Сравните:</b><br/> (+)<br/> My grandmother often cooks <b>a lot of</b> tasty things. <i>Моя бабушка часто готовит много вкусного.</i><br/> (-)<br/> But we don't eat <b>much</b>. <i>Но мы не едим много.</i> (?) Do you eat much? <i>Вы много едите?</i><br/> Иногда слова <b>much</b> и <b>a lot</b> являются синонимами слова “<b>часто</b>”:<br/> Do you ski <b>much</b>? <i>Вы много (часто) катаетесь на лыжах?</i> No, not much (= not often). <i>Нет, не часто.</i></p> |                                                                                                                                              |

### Few, little, a few, a little

С **неисчисляемыми** существительными используйте слово **little** (мало), а с **исчисляемыми** - **few** (мало).

|                                                                                                                |                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>few books - мало книг</b><br/> <b>few girls - мало девочек</b><br/> <b>few boys - мало мальчиков</b></p> | <p><b>little time - мало времени</b><br/> <b>little money - мало денег</b><br/> <b>little snow - мало снега</b></p> |
| <p><b>little</b> } мало (т.е. надо еще)<br/> <b>few</b> }</p>                                                  | <p><b>a little</b> } немного (т.е. пока хватает)<br/> <b>a few</b> }</p>                                            |

### 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 each other rather friendly.** Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.

**They always help one another.** Они всегда помогают друг другу.

### VIII. Относительные (relative) местоимения

**Who (whom), whose, which, that**

|       |                                                                                                                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| who   | Именительный падеж <b>who</b> (подлежащее)<br><b>The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.</b> Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.       |
|       | Объектный падеж <b>whom</b> (дополнение)<br><b>The man <u>whom</u> I love the best is your brother.</b> Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.         |
| which | Для неодушевленных предметов и животных<br><b>The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.</b> Цветы, которые ты мне принес, очень милые.              |
| whose | Для одушевленных существительных<br><b>This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.</b> Это человек, книгу которого мы читали вчера.                        |
|       | Для неодушевленных существительных<br><b>We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.</b> Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми. |
| that  | Для одушевленных существительных<br><b>This is the man <u>that</u> we saw yesterday.</b> Это мужчина, которого мы видели вчера.                                     |
|       | Для неодушевленных существительных<br><b>This is the film <u>that</u> we saw yesterday.</b> Это фильм, который мы видели вчера.                                     |

### IX. Определительные (defining) местоимения

**all**

| Употребление             | Примеры                                     | Перевод                   |
|--------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|
| определяет неисчисляемые | He spent <b>all his</b> time fishing on the | Он провел все свое время, |

|                                                                                           |                                                                            |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>существительные</b>                                                                    | lake.                                                                      | ловя рыбу на озере.                    |
| <b>определяет исчисляемые существительные</b>                                             | <b>All the boys like football. (the после all!)</b>                        | Все мальчишки любят футбол.            |
| <b>all = everything</b>                                                                   | I know <b>all/everything</b> .                                             | Я знаю всё.                            |
| <b>all = everybody</b>                                                                    | <b>All were hungry. Everybody was hungry.</b>                              | Все были голодны.<br>Все были голодны. |
| <b>we all = ail of us</b><br><b>you all = all of you</b><br><b>they all = ail of them</b> | We <b>all</b> love you very much =<br><b>All</b> of us love you very much. | Мы все тебя очень любим                |

#### both

| <b>Употребление</b>                                                          | <b>Примеры</b>                                                  | <b>Перевод</b>                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| определяет существительные                                                   | <b>Both (the/my) friends like football.</b>                     | Оба моих друга любят футбол                                       |
| допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both | <b>Both these/the men are Russian.</b>                          | Оба (эти) мужчины - русские.                                      |
| употребляется вместо существительного                                        | <b>He gave me two apples. Both were sweet.</b>                  | Он дал мне два яблока.<br>Оба были сладкими.                      |
| they both = both of them<br>you both = both of you<br>we both = both of us   | <b>They both (both of them) came to visit us.</b>               | Они оба пришли навестить нас.                                     |
| в устойчивой конструкции <b>both...and.</b>                                  | <b>Both mother father were at home</b>                          | И мама, и папа были дома.                                         |
| в отрицательных предложениях <b>вместо both</b> используется <b>neither</b>  | <b>Both of them know English. Neither of them know English.</b> | Они оба знают английский.<br>Ни один из них не знает английского. |

#### either/neither

|                | <b>Употребление</b>                                       | <b>Примеры</b>                                        | <b>Перевод</b>                      |
|----------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>either</b>  | любой из двух (артикуль не ставится)                      | <b>I've got 2 cakes. Take either cake.</b>            | У меня 2 пирожных.<br>Возьми любое. |
|                | каждый, оба, и тот, и другой                              | <b>There are windows on either side of the house.</b> | С обеих сторон дома есть окна.      |
|                | заменяет существительное (глагол в ед. числе)             | <b>Either of dogs is always hungry.</b>               | Любая из собак вечно голодная.      |
| <b>neither</b> | отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой) | <b>Neither of examples is correct.</b>                | Ни один из примеров не верен.       |
|                | в констр. <b>neither.. nor</b> (ни.. ни)                  | <b>I like neither tea, nor coffee.</b>                | Я не люблю ни чай, ни кофе.         |

#### other, another, the other, the others (другой, другие)

|                  | <b>Употребление</b>             | <b>Примеры</b>                                | <b>Перевод</b>                          |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>the other</b> | другой (второй), другой из двух | <b>You've got 2 balls: one and the other.</b> | У тебя 2 мяча: один и другой.           |
| <b>another</b>   | другой из многих, еще один      | <b>Take another ball.</b>                     | Возьми другой мяч. (Любой, но не этот.) |
| <b>other</b>     | другие (любые), не последние    | <b>Take other 2 balls.</b>                    | Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)      |

|                   |                       |                                                                    |                                             |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>the others</b> | другие (определенные) | <b>There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.</b> | Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие. |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|

### X. *Вопросительные (interrogative) местоимения*

|              |           |                           |                   |
|--------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| <b>what</b>  | что       | <b>What's this?</b>       | Что это?          |
| <b>which</b> | который   | <b>Which of them?</b>     | Который из них?   |
| <b>who</b>   | кто, кого | <b>Who was that?</b>      | Кто это был?      |
| <b>whom</b>  | кого      | <b>Whom did you meet?</b> | Кого ты встретил? |
| <b>whose</b> | чей       | <b>Whose book is it?</b>  | Чья это книга?    |

### Имя существительное. The Noun

|           |                                 |                                    |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|
| Категории | Существительное в русском языке | Существительное в английском языке |
| Число     | <b>Изменяется</b>               | <b>Изменяется</b>                  |
| Падеж     | <b>Изменяется</b>               | <b>Не изменяется</b>               |

### The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

| Способ образования                                        | Примеры                                                                       | Перевод                                                                  |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>после глухих согласных</b>                             | <b>a book - books</b><br><b>a cup - cups</b>                                  | <b>книга - книги</b><br><b>чашка - чашки</b>                             |
| <b>после звонких согласных и гласных</b><br>-             | a name - names<br>a girl - girls                                              | <b>имя - имена</b><br><b>девочка - девочки</b>                           |
| после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es | a palace - palaces<br>a bush - bushes<br>a box - boxes<br>a church - churches | дворец - дворцы<br>куст - кусты<br>коробка - коробки<br>церковь - церкви |
| слово заканчивается на -у: 1) гласная +у                  | <b>a toy - toys</b><br><b>a boy - boys</b>                                    | игрушка - игрушки<br>мальчик - мальчики                                  |
| 2) согласная + у                                          | <b>a family - families</b><br><b>a story - stories</b>                        | <b>семья - семьи</b><br><b>история - истории</b>                         |
| слово заканчивается на <i>-file</i>                       | <b>a leaf - leaves</b><br><b>a shelf - shelves</b>                            | лист - листья<br>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                 |
| <b>ox</b>    | oxen      | <b>бык - быки</b>           |
| <b>tooth</b> | teeth     | <b>зуб - зубы</b>           |

### 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 than that one - Этот стол больше, чем тот (стол).  
 These tables are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

|                                                                                                  |                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Со словами one/ones может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.</b> |                                                                                                    |
| <b>What apple do you want?</b><br><b>Какое ты хочешь яблоко?</b><br><b>The red one. Красное.</b> | <b>What apples do you want?</b><br><b>Какие яблоки ты хочешь?</b><br><b>The red ones. Красные.</b> |

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. .              | I can see a little girl.       |
| Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.          | I like to play with this girl. |
| П. п. Я часто думаю об этой девочке.           | I often think about this girl. |

#### Притяжательный падеж. The Possessive Case

##### Образование притяжательного падежа

|                                                            | Образование | Примеры                           | Перевод                         |
|------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| существительные в единственном числе                       | 's          | bird's house<br>child's ball      | домик птички<br>мячик ребенка   |
| существительные во множественном числе (группа исключений) | 's          | children's ball<br>women's rights | мячик детей<br>права женщин     |
| существительное во множественном числе                     | '           | girls' toy<br>birds' house        | игрушка девочек<br>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 ball - 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

Упомянув объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном 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!<br>What a surprise!<br>Such a fine room!                                                                                                                                                                                                |
| вместо слова один                                                                                                                                                                                                    | She is coming for a weak.                                                                                                                                                                                                                                 |
| в определенных конструкциях<br>there is a...<br>I have a...<br>he has a...<br>I see a...<br>this is a...<br>that is a...<br>It is a...<br>I am a...<br>he/she is a...                                                | There is a book here.<br>I have got a nice coat.<br>He has a kind smile.<br>I see a wolf.<br>This is a dog.<br>That is a doctor.<br>It is a red pen.<br>I am a good swimmer.<br>He/she is a tourist                                                       |
| в ряде устойчивых словосочетаний<br>at a quarter...<br>in a loud, (a low, an angry voice)<br>to have a good time<br>a lot of<br>to go for a walk<br>such a...<br>after a while<br>in a day (a month, a week, a year) | Come at a quarter to 8.<br>Don't speak to him in an angry voice.<br>We had a good time in the country.<br>She has got a lot of presents.<br>Let's go for a walk.<br>He is such a clever boy.<br>You'll see them after a while.<br>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<br>the main road<br>to the left, to the right<br>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<br>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<br>the Sesame 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<br>Changing of the Guard |

#### **Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| in the middle, in the corner<br>in the morning, In the evening, in the afternoon<br>what's the use?<br>to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market<br>at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market<br>the fact is (was) that...<br>where is the...?<br>in the country, to the country | The table is in the middle of the room.<br>I never drink coffee in the evening.<br>What's the use of going there so late?<br>Do you like going to the theatre?<br>He works at the shop.<br>The fact is that I have no money at all.<br>Where is the doctor?<br>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.

#### **Случай, когда артикль не употребляется**

|                                                               |                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| если, перед существительным стоит притяжательное местоимение  | a pen - my pen<br>a dog - his dog<br>the teacher - our teacher<br>the apple - her apple                   |
| если перед существительным стоит указательное местоимение     | the cats - those cats<br>the books - these books<br>a mouse - this mouse                                  |
| если стоит другое существительное в притяжательном падеже     | a car - father's car<br>the horse - farmer's horse<br>a bike - brother's bike<br>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.<br>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.<br>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).<br>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 Netherlands, 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<br>вопросительное или отрицательное<br>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 вопросах was/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    |
|-------------|--------------|---------------|-----------|
| I was       | Полная форма | Краткая форма | Was I?    |
| You were    | I was not    | I wasn't      | Were you? |
| He was      | You were not | You weren't   | Was he?   |
|             | He was not   | He wasn't     |           |

|           |               |              |            |
|-----------|---------------|--------------|------------|
| 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                    |
|-------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| There was<br>There were | Полная форма<br>There was not<br>There were not | Краткая форма<br>There wasn't<br>There weren't | Was there?<br>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 |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Число</b> | изменяется                     | не изменяется                     |
| <b>Род</b>   | изменяется                     | не изменяется                     |
| <b>Падеж</b> | изменяется                     | не изменяется                     |

## Образование имен прилагательных

|                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Имена прилагательные бывают: <b>простые и производные</b><br>К <b>простым</b> 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   | useful<br>doubtful  | полезный<br>сомневающийся  |
| - less  | helpless<br>useless | беспомощный<br>бесполезный |
| - ous   | famous<br>dangerous | известный<br>опасный       |
| - al    | formal<br>central   | формальный<br>центральный  |
| - able  | eatable<br>capable  | съедобный<br>способный     |

#### Приставочный способ образования имен прилагательных

| Приставка | Пример                     | Перевод                          |
|-----------|----------------------------|----------------------------------|
| un -      | uncooked<br>unimaginable   | невареный<br>невообразимый       |
| in -      | incapable<br>inhuman       | неспособный<br>негуманный        |
| il -      | illegal<br>illiberal       | нелегальный<br>необразованный    |
| im -      | impossible<br>impractical  | невозможный<br>непрактичный      |
| dis -     | dishonest<br>disagreeable  | бесчестный<br>неприятный         |
| ir -      | irregular<br>irresponsible | неправильный<br>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 |
| <b>interested</b> – интересующийся, заинтересованный | <b>interesting</b> - интересный                           |
| <b>bored</b> - скучающий                             | <b>boring</b> - скучный                                   |
| <b>surprised</b> - удивленный                        | <b>surprising</b> - 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                |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>cold</b> - холодный | <b>colder</b> - холоднее | <b>the coldest</b> - самый холодный |
| <b>big</b> - большой   | <b>bigger</b> - больше   | <b>the biggest</b> - самый большой  |
| <b>kind</b> - добрый   | <b>kinder</b> - добрее   | <b>the kindest</b> - самый добрый   |

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на -y, -er, -ow, -ble:

| Положительная степень   | Сравнительная степень         | Превосходная степень                |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>clever</b> — умный   | <b>cleverer</b> - умнее       | <b>the cleverest</b> - самый умный  |
| <b>easy</b> - простой   | <b>easier</b> - проще         | <b>the easiest</b> - самый простой  |
| <b>able</b> - способный | <b>abler</b> - способнее      | <b>the ablest</b> - самый способный |
| <b>busy</b> - занятой   | <b>busier</b> - более занятой | <b>the busiest</b> - 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:

**large** – **larger** - **the largest** / большой – больше – самый большой  
**brave** – **braver** – **the bravest** / 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** – **bigger** – **biggest** / большой – больше – самый большой  
**hot** – **hotter** – **hottest** / горячий – горячее – самый горячий  
**thin** – **thinner** – **thinnest** / тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное заканчивается на “y” с предшествующей согласной, то в сравнительной и превосходной степени “y” переходит в “i”:

**busy** – **busier** – **busiest** / занятой – более занятой – самый занятой  
**easy** – **easier** – **easiest** / 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                           |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>beautiful</b> - красивый     | <b>more beautiful</b> - красивее     | <b>the most beautiful</b> - самый красивый     |
| <b>interesting</b> – интересный | <b>more interesting</b> - интереснее | <b>the most interesting</b> - самый интересный |
| <b>important</b> - важный       | <b>more important</b> - важнее       | <b>the most important</b> - самый важный       |

### Особые формы

| Положительная степень | Сравнительная степень | Превосходная степень |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|-----------------------|-----------------------|----------------------|

|                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>good</b> - хороший<br><b>bad</b> - плохой<br><b>little</b> - маленький<br><b>much/many</b> - много<br><b>far</b> - далекий/далеко<br><b>old</b> - старый | <b>better</b> - лучше<br><b>worse</b> - хуже<br><b>less</b> - меньше<br><b>more</b> - больше<br><b>farther/further</b> - дальше<br><b>older/elder</b> - старше | <b>the best</b> - самый лучший<br><b>the worst</b> - самый плохой<br><b>the least</b> - самый маленький, меньше всего<br><b>the most</b> - больше всего<br><b>the farthest/furthest</b> - самый дальний<br><b>the oldest/eldest</b> - 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                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>beautiful</b> – красивый<br><b>interesting</b> - интересный<br><b>important</b> - важный | <b>less beautiful</b> - менее красивый<br><b>less interesting</b> – менее интересный<br><b>less important</b> - менее важный | <b>the least beautiful</b> – самый некрасивый<br><b>the least interesting</b> – самый неинтересный<br><b>the least important</b> – самый неважный |

### Другие средства сравнения двух предметов или лиц

| Конструкция                                         | Комментарий                                       | Примеры                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>As...as</b> (такой же, так же)                   | Для сравнения двух объектов одинакового качества  | He is <b>as strong as</b> a lion.<br>Он такой же сильный, как лев.<br>She is <b>as clever as</b> an owl.<br>Она такая же умная, как сова.                                                                                                                        |
| <b>Not so...as</b> (не такой, как)                  | в отрицательных предложениях                      | He is <b>not so strong as</b> a lion.<br>Он не такой сильный, как лев.<br>She is <b>not so clever as</b> an owl.<br>Она не такая умная, как сова.                                                                                                                |
| <b>The...the</b> (с двумя сравнительными степенями) | показывает зависимость одного действия от другого | <b>The more</b> we are together <b>the happier</b> we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся.<br><b>The more</b> I learn this rule <b>the less</b> I understand it.<br>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

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| <b>1043</b>        | ten forty-three              |
| <b>1956</b>        | nineteen fifty-six           |
| <b>1601</b>        | sixteen o one                |
| <b>2003</b>        | two thousand three           |
| <b>В 2003 году</b> | in two thousand three        |
| <b>1 сентября</b>  | the first of September       |
| <b>23 февраля</b>  | 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. Ноль 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. действия, 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 продолжают 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 (shorter 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 play yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to play.)

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. (Сейчас 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:... while 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:

| <b>Название темы</b>                                      | <b>Страницы учебников</b> |                         |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                                           | <i>Агабекян И. П.</i>     | <i>Журавлева Р.И.</i>   |
| 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

| <b>Глаголы</b> | <b>Значение</b>                              | <b>Примеры</b>                                           |
|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| CAN            | физическая или умственная возможность/умение | I can swim very well. –<br>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 <a href="#">tell me</a> what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?  |
| <b>MAY</b>             | 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<br><b>MIGHT (+ perfect infinitive)</b> | You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.                                                |
| <b>MUST</b>            | 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.              |
| <b>SHOULD OUGHT TO</b> | 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 <a href="#">зонт</a> .                |
| <b>SHALL</b>           | 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?                                                             |
| <b>WILL</b>            | готовность, нежелание/отказ                           | The door won't open. — Дверь не открывается.                                                             |
|                        | вежливая просьба                                      | Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?                                                         |
| <b>WOULD</b>           | 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.                                                         |
| <b>NEED</b>            | необходимость                                         | Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?                                               |
| <b>NEEDN'T</b>         | отсутствие необходимости                              | She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.                                                           |
| <b>DARE</b>            | Посметь                                               | How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?                                                   |

#### Модальные единицы эквивалентного типа

|                                          |                                                                                            |                                                                                                           |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>to be able (to) = can</b>             | Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент                                     | She <b>was able</b> to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию). |
| <b>to be allowed (to) = may</b>          | Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения               | My sister <b>is allowed to</b> play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).                  |
| <b>to have (to)= ought, must, should</b> | Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах               | They <b>will have to</b> set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).                 |
| <b>to be (to)= ought, must, should</b>   | Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д. | We <b>are to</b> 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 приходиться, to fly летать, to 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 технических 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 залого. 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 <b>can speak</b> French – Он говорит по-французски.                                                | Boris said that he <b>could speak</b> French – Борис сказал, что он говорит по-французски.                                                            |
| Present Continuous » Past Continuous | They <b>are listening</b> to him – Они слушают его                                                    | I <b>thought they were listening</b> to him – Я думал, они слушают его.                                                                               |
| Present Perfect » Past Perfect       | Our teacher <b>has asked</b> my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему. | Mary <b>told</b> me that our teacher <b>had asked</b> my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему. |
| Past Simple » Past Perfect           | I <b>invited</b> her – Я пригласил ее.                                                                | Peter <b>didn't know</b> that I <b>had invited</b> her – Петр не знал, что я                                                                          |



|                                                      |                                                              |                                                                                                   |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                      |                                                              | пригласил ее.                                                                                     |
| Past Continuous » Past Perfect Continuous            | She <b>was crying</b> – Она плакала                          | John <b>said</b> that she <b>had been crying</b> – Джон сказал, что она плакала.                  |
| Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous | It <b>has been raining</b> for an hour – Дождь идет уже час. | He <b>said</b> that it <b>had been raining</b> for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.    |
| Future Simple » Future in the Past                   | She <b>will show</b> us the map – Она покажет нам карту.     | I <b>didn't expect</b> she <b>would show</b> 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 можем 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 <b>to speak</b> to you.              | Рад поговорить с вами.<br>(Всегда радуюсь, когда говорю с вами). |
| Continuous         | I am glad <b>to be speaking</b> to you.        | Рад, что сейчас разговариваю с вами.                             |
| Perfect            | I am glad <b>to have spoken</b> to you.        | Рад, что поговорил с вами.                                       |
| Perfect Continuous | I am glad <b>to have been speaking</b> to you. | Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.          |
| Simple Passive     | I am (always) glad <b>to be told</b> the news. | Всегда рад, когда мне рассказывают новости.                      |
| Perfect Passive    | I am glad <b>to have been told</b> 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<br>(Present Participle) | Simple  | <b>writing</b>          | <b>being written</b>       |
|                                      | Perfect | <b>having written</b>   | <b>having been written</b> |
| Participle II (Past Participle)      |         |                         | <b>written</b>             |

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  | <b>writing</b>          | <b>being written</b>       |
| Perfect | <b>having written</b>   | <b>having been written</b> |

**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 *if*. *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<br>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<br>real present   | if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous                                                                                                                       | future/imperative<br>can/may/might/must/should/ could<br>+ bare infinitive | real - likely to happen in the present or future                                             |
|                          | If he doesn't pay the fine, he will go to prison.<br>If you need help, come and see me.<br>If you have finished your work, we can have a break.<br>If you're ever in the area, you should come and visit us. |                                                                            |                                                                                              |
| Type 2<br>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<br>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.<br>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 *I 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** чугу́н; **cast iron** чугу́н, чугу́нная 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 and 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 cooperation 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) дневные 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 горных 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 ones 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** - а абиссальный, глубинный; **hypabissal** - а гипабиссальный

**adjacent** - а смежный, примыкающий

**ash** - п зола

**belt** - п пояс; лента; ремень

**body** - п тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

**common** - а обычный; общий; *syn* **general**; *ant* **uncommon**

**cool** - в 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; **finer** - *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* саль, пластовая интрузия

**stock** - *n* штук, 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 them 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; прослойка (*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 (*машинной*); 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 прослойка) 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 (*o* пласте, породе); *syn* **expose**; засеивать, 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 залегаия*); 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 (of a deposit)        | е) to make a preliminary estimation      |
| 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 (*залези*); 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 квершлагги
- 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                                         |
| однойцевые 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**

|                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mining University</b> – Горный университет;<br><b>higher educational institution</b> - высшее учебное заведение;<br><b>to provide</b> - зд. Предоставлять;<br><b>full-time education</b> - очное образование;<br><b>extramural education</b> - заочное | <b>scientific research centre</b> - центр научных исследований;<br><b>master of science</b> - кандидат наук;<br><b>capable</b> – способный;<br><b>to take part in</b> - принимать участие;<br><b>graduate</b> – выпускник;<br><b>to dedicate</b> – посвящать; |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>образование;<br/> <b>to award</b> – награждать;<br/> <b>post-graduate courses</b> – аспирантура;</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p><b>to carry out scientific work</b> - выполнять научную работу;</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p><b>Faculty of Mining Technology</b> - горно – технологический;<br/> <b>Faculty of Engineering and Economics</b> - инженерно-экономический;<br/> <b>Institute of World Economics</b> – Институт мировой экономики;<br/> <b>Faculty of Mining Mechanics</b> - горно-механический;<br/> <b>Faculty of Civil Protection</b> – гражданской защиты;<br/> <b>Faculty of City Economy</b> – городского хозяйства;</p>                                                                                                                                 | <p><b>Faculty of Geology &amp; Geophysics</b> – геологии и геофизики;<br/> <b>Faculty of extramural education</b> – заочный;<br/> <b>department</b> – кафедра;<br/> <b>dean</b> – декан;<br/> <b>to train specialists in</b> - готовить специалистов;<br/> <b>to consist of</b> - состоять из;<br/> <b>preparatory</b> – подготовительный;<br/> <b>additional</b> – дополнительный;<br/> <b>to offer</b> – предлагать;</p>                                                                                                                                            |
| <p><b>to house</b> - размещать /ся/;<br/> <b>building</b> – здание;<br/> <b>Rector’s office</b> – ректорат;<br/> <b>Dean’s office</b> – деканат;<br/> <b>department</b> – кафедра;<br/> <b>library</b> – библиотека;<br/> <b>reading hall</b> - читальный зал;<br/> <b>assembly hall</b> - актовъ зал;<br/> <b>layout</b> - расположение, план;<br/> <b>administrative offices</b> - административные отделы;</p>                                                                                                                                | <p><b>computation centre</b> - вычислительный центр;<br/> <b>canteen</b> – столовая;<br/> <b>to have meals</b> – питаться;<br/> <b>hostel</b> – общежитие;<br/> <b>to go in for sports</b> - заниматься спортом;<br/> <b>wrestling</b> – борьба;<br/> <b>weight lifting</b> - тяжелая атлетика;<br/> <b>skiing</b> - катание на лыжах;<br/> <b>skating</b> - катание на коньках;<br/> <b>chess</b> – шахматы;</p>                                                                                                                                                     |
| <p><b>academic work</b> - учебный процесс;<br/> <b>academic year</b> - учебный год;<br/> <b>to consist of</b> - состоять из;<br/> <b>bachelor's degree</b> - степень бакалавра;<br/> <b>course of studies</b> - курс обучения;<br/> <b>to last</b> - длиться;<br/> <b>term</b> - семестр;<br/> <b>to attend lectures and classes</b> - посещать лекции и занятия;<br/> <b>period</b> - пара, 2 – х часовое занятие;<br/> <b>break</b> - перерыв;<br/> <b>subject</b> - предмет;<br/> <b>descriptive geometry</b> - начертательная геометрия;</p> | <p><b>general geology</b> - общая геология;<br/> <b>foreign language</b> - иностранный язык;<br/> <b>to operate a computer</b> - работать на компьютере;<br/> <b>to take a test (an exam)</b> - сдавать зачет, экзамен;<br/> <b>to pass a test (an exam)</b> - сдать зачет, экзамен;<br/> <b>to fail a test (an exam)</b> - не сдать зачет, экзамен;<br/> <b>to fail in chemistry</b> - не сдать химию;<br/> <b>holidays, vacations</b> - каникулы;<br/> <b>to present graduation paper</b> - представлять дипломные работы;<br/> <b>for approval</b> - к защите;</p> |

*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 of industrial units and technological complexes - электропривод 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 методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration of mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration of underground waters and engineering - геологическая разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петрология 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 – универсам
- 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, фитнес 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* алевроит

**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; *pl* **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; **hypabyssal** - 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; **finer** - *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* sill, пластовая интрузия

**stock** - *n* штوك, небольшой батолит

**vein** - *n* жила, прожилок, пропласток

**band** - *n* слой; полоса; прослойка (*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* изготавливать, 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; **folding** - *n* складчатость, смешение (*пласта*) без разрыва  
**inflare** - *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* прослойка  
**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 (*руды*); 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**; засеивать, 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, обуславливать

**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* удовлетворять(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 ~*

**hydraulicling** - *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** ~ шламный насос; *v* качать; накачивать; откачивать

**reclamation** - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка (*после открытых работ*)

**sidecasting** - *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; обрушаться

**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* подъемная 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 embarrassing 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 Diplomat 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 you 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 born in 1873 in Tambov. In 1892 he finished school with honours<sup>1</sup> 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 subjects<sup>2</sup> 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 Sulim 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 chairs<sup>5</sup> 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; *суп* **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 foundation<sup>1</sup> 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 establish<sup>3</sup> 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 considered<sup>5</sup> 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* алевроит  
**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.<sup>1</sup> 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) алевроит 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; *pl* **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 предложения 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** - *в* изготавливать, производить; *суп* **produce**

**mudstone** - *п* аргиллит

**purpose** - *п* цель; намерение; *суп* **aim, goal**

**shale** - *п* 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. Укажите, 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; **folding** - *n* складчатость, смешение (*пласта*) без разрыва

**inflare** - *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 om 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 и 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, обуславливать

**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 in 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 thickness 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 are 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 квершлагги
  5. пустая порода
  6. вообще говоря
  7. удалять, перемещать (крепь, вскрышу и др.) 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* удовлетворять(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 сочетании 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          | <b>A4</b>                                                                                                 |
| Шрифт           | Текстовый редактор Microsoft Word,<br>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   | <b><i>Иванова Мария Ивановна</i></b><br>Екатеринбург, Россия<br>ФГБОУ ВПО УГГУ, МД-13<br>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 sea 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 km<sup>2</sup>. 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-file 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 signs 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 is 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, etc., 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.

| <i>Наименование<br/>оценочного<br/>средства</i> | <i>Характеристика оценочного средства</i>                                                                                  | <i>Методика<br/>применения<br/>оценочного<br/>средства</i>                                                | <i>Наполнение<br/>оценочного<br/>средства в<br/>КОС</i> | <i>Составляющая<br/>компетенции,<br/>подлежащая<br/>оценке</i> |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Экзамен:</b>                                 |                                                                                                                            |                                                                                                           |                                                         |                                                                |
| 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.<br>Предлагаются задания по изученным темам в виде практических ситуаций. | КОС-Комплект заданий                                    | Оценивание уровня знаний, умений и навыков                     |





Министерство образования и науки РФ  
ГОУ ВПО  
“Уральский государственный  
горный университет”

**В. А. Бурмистренко, А. И. Ермолаев,  
В. М. Куликов**

## **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ**

*Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
курса «Безопасность жизнедеятельности»  
для студентов всех направлений*

Екатеринбург  
2010

Б44

Рецензент: *Росляков С. М.*, канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ЗАО «ПНЦ "Горноспасательные технологии"», г. Екатеринбург

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры безопасности горного производства «28» января 2010 г. (протокол № 4) и рекомендованы для издания в УГГУ.

**Бурмистренко В. А., Ермолаев А. И., Куликов В. М.**

Б44 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ: методические указания по выполнению лабораторной работы курса «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех направлений, 2-е изд., *испр. и доп.* / В. А. Бурмистренко, А. И. Ермолаев, В. М. Куликов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 32 с.

В методических указаниях к лабораторной работе «Производственный шум» содержится краткое описание прибора-шумомера ИШВ-1, описание методики исследований параметров производственного шума этим прибором, а также приведены методики расчетов акустической эффективности средств снижения шума и нормативного уровня звукового давления на рабочих местах.

- © Бурмистренко В. А., Куликов В. М., Токмаков В. В., Чернявский Э. И., 1997
- © Бурмистренко В. А., Ермолаев А. И., Куликов В. М., 2010
- © Уральская государственная горно-геологическая академия, 1997
- © Уральский государственный горный университет, 2010

## Лекция № 1

### ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА В ОБЩЕКУЛЬТУРНОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ

Понятие «культура» можно определить как степень раскрытия потенциальных возможностей личности в различных областях деятельности. Культура представлена в результатах материальной и духовной деятельности человека; он познает культуру, зафиксированную в духовных и материальных ценностях, действует в социальной среде как носитель культурных ценностей, создает новые ценности, необходимые для развития культуры последующих поколений.

#### Физическая культура и спорт как социальные феномены

##### Физическая культура — часть общечеловеческой культуры

Физическая культура — органическая часть общечеловеческой культуры, ее особая самостоятельная область. Вместе с тем это «мифический процесс и результат человеческой деятельности, средство и способ физического совершенствования личности. Физическая культура воздействует на жизненно важные стороны индивида, полученные в виде задатков, которые передаются генетически и развиваются в процессе жизни под влиянием воспитания, деятельности и окружающей среды. Физическая культура удовлетворяет социальные потребности в общении, игре, развлечении, в некоторых формах самовыражения личности через социально активную полезную деятельность.

В своей основе физическая культура имеет целесообразную двигательную деятельность в форме физических упражнений, позволяющих эффективно формировать необходимые умения и навыки, физические способности, оптимизировать состояние здоровья и работоспособность.

Физическая культура представлена совокупностью материальных, духовных ценностей. К первым относятся спортивные сооружения, инвентарь, специальное оборудование, Спортивная экипировка, медицинское обеспечение. Ко вторым можно отнести информацию, произведения искусства, разнообразные виды спорта, игры, комплексы физических упражнений, этические нормы, регулирующие поведение человека в процессе физкультурно-спортивной деятельности, и др. На развитых формах физическая культура продуцирует эстетические ценности (физкультурные парады, спортивно-показательные выступления др.).

Результатом деятельности в физической культуре является физическая подготовленность и степень совершенства двигательных умений и навыков, высокий уровень развития жизненных сил, спортивные достижения, нравственное, эстетическое, интеллектуальное развитие.

Итак, физическую культуру следует рассматривать как особый род культурной деятельности, результаты которой полезны для общества и личности. В социальной жизни в системе образования, воспитания, и сфере организации труда, повседневного быта, здорового отдыха физическая культура проявляет свое воспитательное, образовательное, оздоровительное, экономическое и общекультурное значение, способствует возникновению такого социального течения, как физкультурное движение, т.е. совместная деятельность людей по использованию, распространению и приумножению ценностей физической культуры.

##### Спорт - явление культурной жизни

Спорт — часть физической культуры. В нем человек стремится расширить границы своих возможностей, это огромный мир эмоций, порождаемых успехами и неудачами, популярнейшее зрелище, действенное средство воспитания и самовоспитания человека, в нем присутствует сложнейший процесс межчеловеческих отношений. Спорт — это собственно соревновательная деятельность и специальная подготовка к ней. Он живет по определенным правилам и нормам поведения. В нем ярко проявляется стремление к победе, достижению высоких результатов, требующих мобилизации физических, психических и нравственных качеств человека. Поэтому часто говорят о спортивном характере людей, успешно проявляющих себя в состязаниях. Удовлетворяя мнение потребности человека, занятия спортом становятся физической и духовной необходимостью.

##### Компоненты физической культуры

Физическое воспитание. Включенное в систему образования и воспитания, начиная с дошкольных учреждений, оно характеризует основу физической подготовленности людей - приобретение фонда жизненно важных двигательных умений и навыков, разностороннее развитие физических способностей. Его важными элементами являются «школа» движения, система гимнастических упражнений и Правила их выполнения, с помощью которых у ребенка формируются умения дифференцированно управлять движениями, способность координировать их в разных сочетаниях; система упражнений для рационального использования сил при перемещениях в пространстве (основные способы ходьбы, бега, плавания, бега на коньках, на лыжах и др.) при преодолении препятствий, в метаниях, в поднимании и переноске тяжестей; «школа» мяча (игра в волейбол, баскетбол, гандбол, футбол, теннис и др.).

Физическое развитие — это биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека (длина, масса тела, окружность грудной клетки, жизненная емкость легких, максимальное потребление кислорода, сила, быстрота, выносливость, гибкость, ловкость и др.).

Физическое развитие управляемо. С помощью физических упражнений, различных видов спорта, рационального питания, режима труда и отдыха можно изменять в необходимом направлении приведенные выше показатели физического развития. В основе управления физическим развитием лежит биологический закон упражняемости и закон единства форм и функций организма. Между тем физическое развитие мере обусловлено и законами наследственности, которые необходимо учитывать как факторы, благоприятствующие или наоборот препятствующие физическому совершенствованию человека.

Процесс физического развития подчиняется также закону возрастной ступенчатости. Поэтому вмешиваться в этот процесс с целью управления им можно только с учетом особенностей и возможностей организма в различные возрастные периоды; становления и роста, наивысшего развития форм и функций, старения.

Кроме того, физическое развитие связано с законом единства организма и среды и зависит от условий жизни человека, в том числе и географической среды. Поэтому при выборе средств и методов физического воспитания необходимо учитывать влияние указанных законов.

Физическое развитие тесно связано со здоровьем человека. Здоровье выступает как ведущий фактор, который определяет не только гармоничное развитие молодого человека, но и успешность освоения профессии, плодотворность его будущей профессиональной деятельности, что составляет общее жизненное благополучие.

Благодаря профессионально-прикладной физической культуре создаются предпосылки для успешного овладения той, или иной профессией и эффективного выполнения работы. На производстве это вводная гимнастика, физкультпаузы, физкультминутки, послерабочие реабилитационные упражнения и др. Содержание и состав средств профессионально-прикладной физической культуры, порядок их применения определяются особенностями трудового процесса. В условиях воинской службы она приобретает черты военно-профессиональной физической культуры.

Оздоровительно-реабилитационная физическая культура. Она связана с направленным использованием физических упражнений в качестве средств лечения заболеваний и восстановления функций организма, нарушенных или утраченных вследствие заболеваний, травм, переутомления и других причин. Ее разновидностью является лечебная физическая культура, которая имеет широкий комплекс средств и методов (лечебная гимнастика, дозированная ходьба, бег и другие упражнения), связанных с характером заболеваний, травм или других нарушений функций организма (перенапряжение, хроническое утомление, возрастные изменения и др.). Средства ее используются в таких режимах, как «щадящий», «тонизирующий», «тренирующий» и др., а формами проведения могут быть индивидуальные сеансы-процедуры, занятия урочного типа и др.

Фоновые виды физической культуры. К ним относят гигиеническую физическую культуру, включенную в рамки повседневного быта (утренняя гимнастика, прогулки, другие физические упражнения в режиме дня, не связанные со значительными нагрузками) и рекреативную физическую культуру, средства которой используются в режиме активного отдыха (туризм, физкультурно-оздоровительные развлечения). Фоновая физическая культура оказывает оперативное влияние на текущее функциональное состояние организма, нормализуя его и способствуя созданию благоприятного функционального «фона» жизнедеятельности. Ее следует рассматривать как, компонент здорового образа жизни. Она особенно эффективна в сочетании с другими компонентами физической культуры и прежде всего с базовой.

В качестве средств физической культуры используются: физические упражнения, естественные силы природы (солнце, воздух и вода, их закаляющее воздействие), гигиенические факторы (личная гигиена — распорядок дня, гигиена сна, режим питания, трудовой деятельности, гигиена тела, спортивной одежды, обуви, мест занятий, отказ от вредных привычек). Их комплексное взаимодействие обеспечивает наибольший оздоровительный и развивающий эффект.

### **Физическая культура в структуре профессионального образования**

Физическая культура — основа социально-культурного бытия индивида, основополагающая модификация его общей и профессиональной культуры. Как интегрированный результат воспитания и профессиональной подготовки она проявляется в отношении человека к своему здоровью, физическим возможностям и способностям, в образе жизни и профессиональной деятельности и предстает в единстве знаний, убеждений, ценностных ориентации и в их практическом воплощении.

Физическая культура выступает как интегральное качество личности, как условие и предпосылка эффективной учебно-профессиональной деятельности, как обобщенный показатель профессиональной культуры будущего специалиста и как цель саморазвития и самосовершенствования. Она характеризует свободное, сознательное самоопределение личности, которая на разных этапах жизненного развития из множества ценностей избирает, осваивает те, которые для нас наиболее значимы.

### **Физическая культура студента**

Структура физической культуры студента представлена на схеме 1.1.

Мотивационно-ценностный компонент отражает активно положительное эмоциональное отношение к физической культуре, сформированную потребность в ней, систему знаний, интересов, мотивов и убеждений, организующих и направляющих волевые усилия личности, познавательную и практическую деятельность по



Схема 1.1. Структура физической культуры личности

овладению ценностями физической культуры, нацеленность на здоровый образ жизни, физическое совершенствование.

Кругозор личности в сфере физической культуры определяют знания. Их можно разделить на теоретические, методические и практические. Теоретические знания охватывают историю развития физической культуры, закономерности работы организма человека в двигательной деятельности и выполнения двигательных действий, физического самовоспитания и самосовершенствования. Эти знания необходимы для объяснения и связаны с вопросом «почему?» Методические знания обеспечивают возможность получить ответ на вопрос, «как использовать теоретические знания на практике, как самообучаться, саморазвиваться, самосовершенствоваться в сфере физической культуры?» Практические знания характеризуют ответ на вопрос: «как эффективно выполнять то или иное физическое упражнение, двигательное действие?»

Знания необходимы для самопознания личности в процессе физкультурно-спортивной деятельности. Прежде всего это относится к самосознанию, т.е. осознанию себя как личности, осознанию своих интересов, стремлений, переживаний. Переживание различных эмоций, сопровождающих самопознание, формирует отношение к себе и образует самооценку личности. Она имеет две стороны — содержательную (знания) и эмоциональную (отношение). Знания о себе соотносятся со знаниями о других и с идеалом. В результате выносятся суждения, что у индивида лучше, а что хуже, чем у других, и как соответствовать идеалу. Таким образом, самооценка — это результат сравнительного познания себя, а не просто констатация наличных возможностей. В связи с самооценкой возникают такие личностные качества, как самоуважение, тщеславие, честолюбие. Самооценка имеет ряд функций: сравнительного познания себя (чего я стою); прогностическая (что я могу); регулятивная (что я должен делать, чтобы не потерять самоуважение, иметь душевный комфорт). Студент ставит перед собой цели определенной трудности, т.е. имеет определенный уровень притязаний, который должен быть адекватным его реальным возможностям. Если уровень притязаний занижен, то это может сковывать инициативу и активность личности в физическом совершенствовании; завышенный уровень может привести к разочарованию в занятиях, потере веры в свои силы.

Убеждения определяют направленность оценок и взглядов личности в сфере физической культуры, побуждают ее активность, становятся принципами ее поведения. Они отражают мировоззрение студента и придают его поступкам особую значимость и направленность.

Потребности в физической культуре — главная побудительная, направляющая и регулирующая сила поведения личности. Они имеют широкий спектр: потребность в движениях и физических нагрузках; в общении, контактах и проведении свободного времени в кругу друзей; в играх, развлечениях, отдыхе, эмоциональной разрядке; в самоутверждении, укреплении позиций своего Я; в познании; в эстетическом наслаждении; в улучшении качества физкультурно-спортивных занятий, в комфорте и др.

Потребности тесно связаны с эмоциями — переживаниями, ощущениями приятного и неприятного, удовольствия или неудовольствия.

Удовлетворение потребностей сопровождается положительными эмоциями (радость, счастье), неудовлетворение — отрицательными (отчаяние, разочарование, печаль). Человек обычно выбирает тот вид деятельности, который в большей степени позволяет удовлетворить возникшую потребность и получить положительные эмоции.

Возникающая на основе потребностей система мотивов определяет направленность личности, стимулирует и мобилизует ее на проявление активности. Можно выделить следующие мотивы:

- физического совершенствования, связанный со стремлением ускорить темпы собственного развития, занять достойное место в своем окружении, добиться признания, уважения;
- дружеской солидарности, продиктованный желанием быть вместе с друзьями, общаться, сотрудничать с ними;
- долженствования, связанный с необходимостью посещать занятия по физической культуре, выполнять требования учебной программы;
- соперничества, характеризующий стремление выделиться, самоутвердиться в своей среде, добиться авторитета, поднять свой престиж, быть первым, достичь как можно большего;
- подражания, связанный со стремлением быть похожим на тех, кто достиг определенных успехов в

физкультурно-спортивной деятельности или обладает особыми качествами и достоинствами, приобретенными в результате занятий;

- спортивный, определяющий стремление добиться каких-либо значительных результатов;
- процессуальный, при котором внимание сосредоточено не на результате деятельности, а на самом процессе занятий;
- игровой, выступающий средством развлечения, нервной разрядки, отдыха;
- комфортности, определяющий желание заниматься физическими упражнениями в благоприятных условиях, и др.

В побуждении студентов к занятиям физической культурой и спортом важны и интересы. Они отражают избирательное отношение человека к объекту, обладающему значимостью и эмоциональной привлекательностью. Когда уровень осознания интереса невысок, преобладает эмоциональная привлекательность. Чем выше этот уровень, тем большую роль играет объективная значимость. В интересе отражаются потребности человека и средства их удовлетворения. Если потребность вызывает желание обладать предметом, то интерес — познакомиться с ним.

В структуре интереса различают эмоциональный компонент, познавательный и поведенческий компоненты. Первый связан с тем, что человек по отношению к объекту или деятельности всегда испытывает какие-либо чувства. Его показателями могут быть: удовольствие, удовлетворенность, величина потребности, оценка личной значимости, удовлетворенность физическим Я и др. Второй компонент связан с осознанием свойств объекта, пониманием его пригодности для удовлетворения потребностей, а также с поиском и подбором средств, необходимых для удовлетворения возникшей потребности. Его показателями могут быть: убежденность в необходимости занятий физической культурой и спортом, осознание индивидуальной необходимости занятий; определенный уровень знаний; стремление к познанию и др. В поведенческом компоненте отражаются мотивы и цели деятельности, а также рациональные способы удовлетворения потребности. В зависимости от активности поведенческого компонента и интересы могут быть реализованными и нереализованными. Свободный выбор физкультурно-спортивных занятий свидетельствует о наличии у человека осознанного, активного интереса.

Интересы обычно возникают на основе тех мотивов и целей физкультурно-спортивной деятельности, которые связаны:

- с удовлетворением процессом занятий (динамичность, эмоциональность, новизна, разнообразие, общение и др.);
- с результатами занятий (приобретение новых знаний, умений и навыков, овладение разнообразными двигательными действиями, испытание себя, улучшение результата и др.);
- с перспективой занятий (физическое совершенство и гармоничное развитие, воспитание личностных качеств, укрепление здоровья, повышение спортивной квалификации и др.).

Если же человек не имеет определенных целей в физкультурно-спортивной деятельности, то он не проявляет интереса к ней.

Отношения задают предметную ориентацию, определяют социальную и личностную значимость физической культуры в жизни. Выделяют активно-положительное, пассивно-положительное, индифферентное, пассивно-отрицательное и активно-отрицательное отношения. При активно-положительном отношении ярко выражены физкультурно-спортивная заинтересованность и целеустремленность, глубокая мотивация, ясность целей, устойчивость интересов, регулярность занятий, участие в соревнованиях, активность и инициативность в организации и проведении физкультурно-спортивных мероприятий.

Пассивно-положительное отношение отличается расплывчатыми мотивами, неясностью и неконкретностью целей, аморфностью и неустойчивостью интересов, эпизодическим участием в физкультурно-спортивных мероприятиях. Индифферентное отношение — это безразличие и безучастность, мотивация в этом случае противоречива, цели и интересы к физкультурно-спортивной деятельности отсутствуют. Пассивно-отрицательное отношение связано со скрытым негативизмом части людей к физической культуре и спорту, они для таких лиц не имеют никакого значения. Активно отрицательное отношение проявляется в открытой неприязни, откровенном сопротивлении занятиям физическими упражнениями, которые для таких лиц не имеют никакой ценности.

Ценностные ориентации выражают совокупность отношений личности к физической культуре в жизни и профессиональной деятельности.

Эмоции — важнейший компонент ценностных ориентаций, наиболее глубоко характеризующий их содержание и сущность. С помощью эмоций выражаются: удовольствие, удовлетворение, величина потребности, оценка личной значимости, удовлетворенность физическим Я. В связи с тем что эмоции имеют различную степень выраженности, длительность протекания и осознанность причины их проявления, можно выделить: настроения (слабо выраженные устойчивые эмоциональные состояния); страсть (быстро возникающее, стойкое и сильное чувство, например к спорту); аффект (быстро возникающее кратковременное эмоциональное состояние, вызванное особо значимым раздражителем и всегда бурно проявляемое, например при победе). Эмоции обладают свойством заразительности, что очень важно при занятиях физкультурно-спортивной деятельностью.

Волевые усилия регулируют поведение и деятельность личности и соответствии с поставленными целями, принятыми решениями. Волевая активность определяется силой мотива: если я очень хочу достичь цели, то буду проявлять и более интенсивное, и более длительное волевое усилие. Волевое усилие направляется разумом, моральным чувством, нравственными убеждениями. Физкультурно-спортивная деятельность развивает волевые качества: упорство в достижении цели, которое проявляется через терпеливость и настойчивость, т.е. стремление достичь отдаленную во времени цель, несмотря на возникающие препятствия и трудности; самообладание, под которым понимают смелость, как способность выполнить задание, несмотря на возникающее чувство боязни, страха; сдержанность (выдержка) как способность подавлять импульсивные, малообдуманные, эмоциональные реакции; собранность (сосредоточенность) как способность концентрировать внимание на выполняемом задании, несмотря на

возникающие помехи. К волевым качествам относятся решительность, характеризующаяся минимальным временем принятия решения в значимой для человека ситуации, и инициативность, которая определяется взятием на себя ответственности за принимаемое решение.

Таким образом, в процессе физического воспитания осуществляется воздействие не только на биологическую основу личности, но и на ее биосоциальную целостность. Поэтому невозможно судить о физической культуре личности, опираясь лишь на развитие ее физических возможностей, без учета ее мыслей, чувств, ценностных ориентации, направленности и степени развитости интересов, потребностей, убеждений.

### **Физическая культура и спорт как средства сохранения и укрепления здоровья студентов, их физического и спортивного совершенствования**

Владея и активно используя разнообразные физические упражнения, человек улучшает свое физическое состояние и подготовленность, физически совершенствуется. Физическое совершенство отражает такую степень физических возможностей личности, ее пластической свободы, которые позволяют ей наиболее полно реализовать свои сущностные силы, успешно принимать участие в необходимых обществу и желательных для нее видах социально-трудовой деятельности, усиливают ее адаптивные возможности и рост на этой основе социальной отдачи. Степень физического совершенства определяется тем, насколько прочную основу оно представляет для дальнейшего развития, в какой мере оно «открыто» новым качественным изменениям и создает условия для перевода личности в иное, более совершенное качество.

Физическое совершенствование правомерно рассматривать как динамическое состояние, характеризующее стремление личности к целостному развитию посредством избранного вида спорта или физкультурно-спортивной деятельности. Тем самым обеспечивается выбор средств, наиболее полно соответствующий ее морфофункциональным и социально-психологическим особенностям, раскрытию и развитию ее индивидуальности. Вот почему физическое совершенство является не просто желаемым качеством будущего специалиста, а необходимым элементом его личностной структуры.

Физкультурно-спортивная деятельность, в которую включаются студенты — один из эффективных механизмов слияния общественного и личного интересов, формирования общественно необходимых индивидуальных потребностей. Ее специфическим ядром являются отношения, развивающие физическую и духовную сферу личности, обогащающие ее нормами, идеалами, ценностными ориентациями. При этом происходит превращение социального опыта в свойства личности и превращение ее сущностных сил во внешний результат. Целостный характер такой деятельности делает ее мощным средством повышения социальной активности личности.

Физическая культура личности проявляет себя в трех основных направлениях. Во-первых, определяет способность к саморазвитию, отражает направленность личности «на себя», что обусловлено ее социальным и духовным опытом, обеспечивает ее стремление к творческому «самостроительству», самосовершенствованию. Во-вторых, физическая культура — основа самодеятельного, инициативного самовыражения будущего специалиста, проявление творчества в использовании средств физической культуры, направленных на предмет и процесс его профессионального труда. В-третьих, она отражает творчество личности, направленное на отношения, возникающие в процессе физкультурно-спортивной, общественной и профессиональной деятельности, т.е. «на других». Чем богаче и шире круг связей личности в этой деятельности, тем богаче становится пространство ее субъективных проявлений.

### **Профессиональная направленность физического воспитания**

Профессиональная направленность физической культуры личности — это основа, объединяющая все остальные ее компоненты.

Критериями, по которым можно судить о сформированности физической культуры личности, выступают объективные и субъективные показатели. Опираясь на них, можно выявить существенные свойства и меру проявления физической культуры в деятельности. К ним относятся:

- степень сформированности потребности в физической культуре и способы ее удовлетворения;
- интенсивность участия в физкультурно-спортивной деятельности (затрачиваемое время, регулярность);
- характер сложности и творческий уровень этой деятельности;
- выраженность эмоционально-волевых и нравственных проявлений личности в физкультурно-спортивной деятельности (самостоятельность, настойчивость, целеустремленность, самообладание, коллективизм, патриотизм, трудолюбие, ответственность, дисциплинированность);
- степень удовлетворенности и отношение к выполняемой деятельности;
- проявление самодеятельности, самоорганизации, самообразования, самовоспитания и самосовершенствования в физической культуре;
- уровень физического совершенства и отношение к нему;
- владение средствами, методами, умениями и навыками, необходимыми для физического совершенствования;
- системность, глубина и гибкость усвоения научно-практических знаний по физической культуре для творческого использования в практике физкультурно-спортивной деятельности;
- широта диапазона и регулярность использования знаний, умений, навыков и опыта физкультурно-спортивной деятельности в организации здорового стиля жизни, в учебной и профессиональной деятельности.

Таким образом, о сформированности физической культуры личности можно судить по тому, как и в какой конкретной форме проявляются личностные отношения к физической культуре, ее ценностям. Сложная система потребностей личности, ее способностей предстает здесь как мера освоения физической культуры общества и мера

творческого самовыражения в ней.

В соответствии с критериями можно выделить ряд уровней проявления физической культуры личности.

Предноминальный уровень складывается стихийно. Причины его лежат в сфере сознания в отношении студентов и связаны с неудовлетворенностью предлагаемой педагогами программой, содержанием занятий и внеучебной деятельности, ее смысловым и общекультурным потенциалом; осложненными межличностными отношениями с педагогом. У студентов отсутствует потребность в познавательной активности, а знания проявляются на уровне знакомства с учебным материалом. Отрицается связь физической культуры со становлением личности будущего специалиста и процессом его профессиональной подготовки. В мотивационной сфере доминирует негативная или индифферентная установка. На учебных занятиях такие студенты пассивны, сферу внеучебной деятельности отвергают. Уровень их физических возможностей может быть различным.

Номинальный уровень характеризуется индифферентным отношением студентов к физической культуре спонтанным использованием ее отдельных средств и методов под влиянием товарищей по учебной группе, досугу, эмоционального впечатления от спортивного зрелища, теле- или киноинформации. Знания ограничены, бессистемны; смысл занятий видится лишь в укреплении здоровья, частично в физическом развитии. Практические умения ограничены простейшими элементами — утренняя зарядка (эпизодически), отдельные виды закаливания, активный отдых; направленность — личная. Иногда студенты этого уровня могут принимать участие в некоторых видах физкультурно-спортивной деятельности репродуктивного характера по просьбе педагога. Уровень здоровья и физической подготовленности таких студентов имеет широкий диапазон. В послевузовском периоде они не проявляют инициативы в заботе о своем здоровье, физическом состоянии.

В основе потенциального уровня — положительно осознанное отношение студентов к физической культуре в целях самосовершенствования и профессиональной деятельности. Они имеют необходимые знания, убеждения, практические умения и навыки, позволяющие грамотно выполнять разнообразную физкультурно-спортивную деятельность под контролем и при консультативной помощи педагогов и опытных товарищей. Познавательная активность проявляется как в сфере спортивных зрелищ, так и в освоении научно-популярной литературы.

Направленность «на себя». Большое значение придается эмоциональному общению и самовыражению в процессе занятий. Используют частичное физическое самовоспитание, руководствуясь личными мотивами. Проявляют активность в общественной физкультурной деятельности лишь при побуждении извне (педагоги, общественность, деканат). После окончания вуза проявляют физкультурно-спортивную активность, лишь попадая в благоприятную среду.

Творческий уровень характерен для студентов, убежденных в ценностной значимости и необходимости использовать физическую культуру для развития и реализации возможностей личности. Этим студентам присуща основательность знаний по физической культуре, они владеют умениями и навыками физического самосовершенствования, организации здорового образа жизни, использования средств физической культуры для реабилитации при высоких нервно-эмоциональных нагрузках и после перенесенных заболеваний; они творчески внедряют физическую культуру в профессиональную деятельность, в семейную жизнь. После окончания вуза проявляют инициативу самостоятельности во многих сферах жизнедеятельности.

Границы выделенных уровней подвижны. Они свидетельствуют о наличии противоречий, основным из которых является несоответствие между современными требованиями к профессионально-личностному развитию будущего специалиста и его реальным уровнем. А это является движущей силой развития его физической культуры.

### **Организационно-правовые основы физической культуры и спорта**

Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые, организационные, экономические и социальные основы деятельности в области физической культуры и спорта в Российской Федерации, определяет основные принципы законодательства о физической культуре и спорте. Принят Государственной Думой 16 ноября 2007 года, вступил в силу 1 января 2008 года.

Основные принципы законодательства о физической культуре и спорте:

1. обеспечение права каждого на свободный доступ к физической культуре и спорту как к необходимым условиям развития физических, интеллектуальных и нравственных способностей личности, права на занятия физической культурой и спортом для всех категорий граждан и групп населения;
2. единство нормативной правовой базы в области физической культуры и спорта на всей территории Российской Федерации;
3. сочетание государственного регулирования отношений в области физической культуры и спорта с саморегулированием таких отношений субъектами физической культуры и спорта;
4. установление государственных гарантий прав граждан в области физической культуры и спорта;
5. запрет на дискриминацию и насилие в области физической культуры и спорта;
6. обеспечение безопасности жизни и здоровья лиц, занимающихся физической культурой и спортом, а также участников и зрителей физкультурных и спортивных мероприятий;
7. соблюдение международных договоров Российской Федерации в области физической культуры и спорта;
8. содействие развитию физической культуры и спорта инвалидов, лиц с ограниченными возможностями здоровья и других групп населения, нуждающихся в повышенной социальной защите;

Государство признает и поддерживает Олимпийское движение в России, его деятельность координируется Олимпийским комитетом, который является неправительственной независимой организацией и официально представляет Россию во всех мероприятиях, проводимых Международным Олимпийским комитетом.



Система физической культуры направлена на то, чтобы организовать физическое воспитание населения с учетом интересов каждого человека, требований производства, образования и культуры народов Российской Федерации. Система существует в государственных и общественных формах деятельности. Физическое воспитание в образовательных учебных заведениях и дошкольных учреждениях происходит на основе государственных образовательных программ (не менее пяти часов в неделю), также используется внеучебная физкультурно-оздоровительная и спортивная работа. С обучающимися, имеющими отклонения в развитии, занятия проводятся в рамках индивидуальной программы реабилитации. В физическом воспитании населения принимают участие учреждения дополнительного образования: спортивные школы, секции, клубы и другие внешкольные и внеучебные физкультурно-оздоровительные и спортивные организации.

Администрации учреждений, организаций, предприятий и объединений обязаны создавать работникам условия для реализации их права на занятия физической культурой, включая реабилитационные, профессионально-прикладные занятия в режиме рабочего дня, послетрудовое восстановление, профилактические занятия, спортивно-массовую работу, спортивно-оздоровительный туризм. Муниципальные органы создают условия для занятий физической культурой по месту жительства и в местах массового отдыха. Администрация санаторно-курортных учреждений, домов отдыха и туристских баз обязана создавать условия для использования в процессе отдыха и лечения различных компонентов физической культуры, в целях укрепления здоровья отдыхающих, профилактики и лечения заболеваний. Физическая подготовка военнослужащих и личного состава правоохранительных органов должна обеспечить выполнение ими воинского долга и основных служебных обязанностей. Командованием создаются необходимые для этого условия.

Развитие физической культуры и спорта среди инвалидов направлено на повышение их двигательной активности. Это непереносимое условие их всесторонней реабилитации и социальной адаптации. Этим занимаются образовательные учреждения, учреждения здравоохранения, социального обеспечения и организации физической культуры и спорта.

Органы управления здравоохранением (государственные, на предприятиях, в учреждениях) используют физическую культуру как средство профилактики и лечения заболеваний; осуществляют врачебный контроль за лицами, занимающимися физической культурой и спортом, в том числе спортивно-оздоровительным туризмом; организуют и проводят подготовку и повышение квалификации специалистов здравоохранения, создают центры и пункты оздоровления и реабилитации средствами физической культуры, диагностико-консультационные пункты и кабинеты, врачебно-физкультурные диспансеры.

Работники физической культуры и спорта обязаны соблюдать нормы и правила безопасности при проведении занятий, не наносить вред здоровью участников и зрителей, не проявлять жестокости и насилия. К судейству спортивных соревнований допускаются лица, прошедшие специальную подготовку и аттестованные спортивными федерациями как судьи по виду спорта.

Чтобы подготовить спортсменов высокого класса, создаются специализированные организации (государственные, муниципальные, негосударственные, в том числе частные и общественные). граждане имеют право заниматься профессиональным спортом в качестве спортсменов или сулен. Нельзя использовать с целью достижения спортивных результатов приемы, способы и средства, запрещенные в спорте регламент нормирующими документами, утвержденными спортивными организациями и объединениями.

К профессиональной педагогической деятельности в области физической культуры и спорта допускаются лица, имеющие документ установленного образца о профессиональном образовании по специальности, выданный образовательным учреждением, или разрешение, выданное государственным органом управления физической культурой и спортом. К профессиональной деятельности в области лечебной физической культуры допускаются лица, имеющие профессиональное образование по специальности «Физическая культура и спорт» или медицинское образование.

### **Физическая культура и спорт в системе образования**

В соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования физическая культура с 1994 г. объявлена обязательной дисциплиной гуманитарного образовательного цикла.

Образовательные учреждения с учетом местных условий и интересов обучающихся самостоятельно определяют формы занятий физической культурой, средства физического воспитания, виды спорта и двигательной активности, методы и продолжительность занятий физической культурой на основе государственных образовательных стандартов и нормативов физической подготовленности.

Организация физического воспитания и образования в образовательных учреждениях включает в себя:

1. Проведение обязательных занятий по физической культуре в пределах основных образовательных программ в объёме, установленном государственными образовательными стандартами, а также дополнительных (факультативных) занятий физическими упражнениями и спортом в пределах дополнительных образовательных программ;

2. Создание условий, в том числе обеспечение спортивным инвентарем и оборудованием, для проведения комплексных мероприятий по физкультурно-спортивной подготовке обучающихся;

3. Формирование у обучающихся навыков физической культуры с учетом индивидуальных способностей и состояния здоровья, создание условий для вовлечения обучающихся в занятия физической культурой и спортом;

4. Осуществление физкультурных мероприятий во время учебных занятий;

5. Проведение медицинского контроля за организацией физического воспитания;

6. Формирование ответственного отношения родителей (лиц, их заменяющих) к здоровью детей и их физическому воспитанию

7. Проведение ежегодного мониторинга физической подготовленности и физического развития обучающихся;
8. Содействие организации и проведению спортивных мероприятий с участием обучающихся.

### Гуманитарная значимость физической культуры

Являясь по своей сути человековедческой дисциплиной, физическая культура направлена на то, чтобы развить целостную личность, гармонизировать ее духовные и физические силы, активизировать готовность полноценно реализовать свои сущностные силы в здоровом и продуктивном стиле жизни, профессиональной деятельности, в самопостроении необходимой социокультурной комфортной среды, являющейся неотъемлемым элементом образовательного пространства вуза. Гуманитаризация образования в сфере физической культуры означает его очеловечивание, выдвижение личности студента в качестве главной ценности педагогического процесса.

Гуманитарные знания дают возможность преодолеть технократическое и узкопрофессиональное мышление будущего специалиста, воспитывают духовно богатую личность, обладающую развитым чувством социально-профессиональной и нравственной ответственности. Системная и целенаправленная гуманитарная подготовка и формируемая в ее процессе личностная культура студента определяют свойства его адаптивности, самообучаемости, самостоятельности и инициативности как будущего специалиста, закладывая тем самым основы его высокого профессионализма

Физическая культура прямо и опосредованно охватывает такие свойства и ориентации личности, которые позволяют ей развиваться в единстве с культурой общества, достигать гармонии знаний и творческого действия, чувств и общения, физического и духовного, разрешать противоречия между природой и производством, трудом и отдыхом, физическим и духовным. Достижение личностью такой гармонии обеспечивает ей социальную устойчивость, продуктивную включенность в жизнь и труд, создаст ей психический комфорт.

Физическая культура выступает как социокультурный слой практики, направленной на освоение природных сил студентов и опосредованных их культурным отношением к своим физическим возможностям. Развитие физических способностей студента рассматривается в рамках процесса воспитания как развитие элементов культуры, особых личностных качеств. Гуманитаризация образовательного процесса подчеркивает огромную роль образованности личности, ее самоценность. Лишь при этом она может достигать такого состояния, при котором становятся возможными и необходимыми социальные и индивидуальные процессы саморазвития, самовоспитания, самосовершенствования, самоуправления, самоопределения. Они отражают наиболее действенные и долговременные результаты образования по физической культуре.

### Ценностные ориентации и отношение студентов к физической культуре

Под ценностями понимаются предметы, явления и их свойства, необходимые обществу и личности в качестве средств удовлетворения потребностей. Они формируются в процессе усвоения личностью социального опыта и отражаются в ее целях, убеждениях, идеалах, интересах. В них отражены представления студентов, о желаемом. В формировании определенных ценностей, способных удовлетворить потребности студентов, проявляется единство физического, психического и социального развития личности.

В сфере физической культуры ценности по качественному критерию могут быть представлены как:

- материальные (условия занятий, качество спортивной экипировки, льготы со стороны общества);
- физические (здоровье, телосложение, двигательные умения и навыки, физические качества, физическая подготовленность);
- социально-психологические (отдых, развлечение, удовольствие, трудолюбие, навыки поведения в коллективе, чувства долга, чести, совести, благородства, средства воспитания и социализации, рекорды, победы, традиции);
- психические (эмоциональные переживания, черты характера, свойства и качества личности, творческие задатки);
- культурные (познание, самоутверждение, самоуважение, чувство собственного достоинства, эстетические и нравственные качества, общение, авторитет).

Ценностные ориентации студентов рассматриваются как способы, с помощью которых дифференцируют объекты физической культуры по их значимости. В структуре физкультурно-спортивной деятельности ценностные ориентации тесно связаны с эмоциональными, познавательными и волевыми ее сторонами, образующими содержательную направленность личности. Характер же направленности в самой деятельности чаще зависит от того, какой личностный смысл имеет система тех или иных ценностей, определяющая действенность отношений индивида к тем объектам, ради которых эта деятельность осуществляется. Одни объекты могут вызывать эмоциональную (чувственную), другие — познавательную, третьи — поведенческую активность.

Исследования М.А. Арвисто позволили выделить три ранга ценностных ориентации студентов в физкультурно-спортивной деятельности (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Ценностные ориентации студентов и физкультурно-спортивной деятельности, %

| Ранг | Ценностные ориентации | Эмоциональная основа                             | Рациональная основа                                             |
|------|-----------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|      |                       | Что к физической культуре и спорте вам нравится? | Какую пользу для себя вы видите в физической культуре и спорте? |
| 1    | 2                     | 3                                                | 4                                                               |
| 1    | Физическое Я          | 13,8                                             | 41.1                                                            |

|   |                                |      |      |
|---|--------------------------------|------|------|
|   | Самоактуализация               | 38,4 | 6,9  |
|   | Морально-волевые качества      | 7,5  | 13,1 |
|   | Функциональное содержание      | 19,2 | 10,8 |
|   | Чувство долга                  | 2,2  | 0,9  |
| 2 | Общение                        | 4,7  | 4,0  |
|   | Социальное признание           | 0,4  | 5,1  |
|   | Красота                        | 0,8  | 1,0  |
| 3 | Знания                         | 2,0  | 5,9  |
|   | Материальные ценности          | 0,4  | 5,1  |
|   | Аспекты сексуального поведения | 0,8  | 1,0  |

В таблице ценностные ориентации представлены с точки зрения различных компонентов регуляции деятельности. Эмоциональный компонент основывается на привлекательности, а рациональный на полезности, они дополняют друг друга и деятельность регулируют вместе, хотя между ними существует определенное несоответствие. Данные таблицы показывают, что ценности, связанные с физическим Я (физические качества, здоровье, телосложение), с функциональным содержанием деятельности (высокая подвижность, физические нагрузки, эмоциональные переживания), с актуализацией (успех, самовыражение, самоутверждение), с морально-волевыми качествами (воля, настойчивость), с чувством долга, составляют главный ранг. Поэтому в физкультурно-спортивной деятельности этим ценностям необходимо уделять особое внимание, чтобы не ослабевала ориентация на эту деятельность.

### Основы организации физического воспитания в вузе

Физическая культура в вузе выполняет следующие социальные функции:

- преобразовательно-созидательную, что обеспечивает достижение необходимого уровня физического развития, подготовленности и совершенствования личности, укрепления ее здоровья, подготовку ее к профессиональной деятельности;
- интегративно-организационную, характеризующую возможности объединения молодежи в коллективы, команды, клубы, организации, союзы для совместной физкультурно-спортивной деятельности;
- проективно-творческую, определяющую возможности физкультурно-спортивной деятельности, в процессе которой создаются модели профессионально-личностного развития человека, стимулируются его творческие способности, осуществляются процессы самопознания, самоутверждения, саморазвития, обеспечивается развитие индивидуальных способностей;
- проективно-прогностическую, позволяющую расширить эрудицию студентов в сфере физической культуры, активно использовать знания в физкультурно-спортивной деятельности и соотносить эту деятельность с профессиональными намерениями;
- ценностно-ориентационную. В процессе ее реализации формируются профессионально - и личностно-ценностные ориентации, их использование обеспечивает профессиональное саморазвитие и личностное самосовершенствование;
- коммуникативно-регулятивную, отражающую процесс культурного поведения, общения, взаимодействия участников физкультурно-спортивной деятельности, организации содержательного досуга, оказывающую влияние на коллективные настроения, переживания, удовлетворение социально-этических и эмоционально-эстетических потребностей, сохранение и восстановление психического равновесия, отвлечение от курения, алкоголя, токсикомании;
- социализации, в процессе которой происходит включение индивида в систему общественных отношений для освоения социокультурного опыта, формирования социально ценных качеств.

Изучение социальных функций физкультуры в вузе позволит глубже понять содержание учебной дисциплины «Физическая культура», зафиксированной в примерной программе для вузов в соответствии с государственным образовательным стандартом. Примерной она названа потому, что отражает только требования «Стандарта», но в каждом вузе может быть расширена и дополнена с учетом регионально-территориальных, социокультурных, климатических факторов, а также особенностей подготовки профессиональных кадров, материально-технических условий.

Чтобы достичь цели физического воспитания — сформировать физическую культуру личности, важно решить следующие воспитательные, образовательные, развивающие и оздоровительные задачи:

- понимать роль физической культуры в развитии личности и подготовке ее к профессиональной деятельности;
- знать научно-практические основы физической культуры и здорового образа жизни;
- формировать мотивационно-ценностное отношение студентов к физической культуре, установку па здоровый образ жизни, физическое самосовершенствование и самовоспитание, потребность в регулярных занятиях физическими упражнениями и спортом;
- овладеть системой практических умений и навыков, обеспечивающих сохранение и укрепление здоровья, психическое благополучие, развитие и совершенствование психофизических способностей и свойств личности, самоопределение в физической культуре;
- обеспечить общую и профессионально-прикладную физическую подготовленность, определяющую психофизическую готовность студентов к будущей профессии;

- приобрести опыт творческого использования физкультурно-спортивной деятельности для достижения жизненных и профессиональных целей.

Обязательный минимум дисциплины «Физическая культура» включает следующие дидактические единицы, освоение которых предусмотрено тематикой теоретического, практического и контрольного учебного материала:

- физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке студентов;
- социально-биологические основы физической культуры;
- основы здорового образа и стиля жизни;
- оздоровительные системы и спорт (теория, методика и практика);
- профессионально-прикладная физическая подготовка студентов.

Теоретический материал формирует мировоззренческую систему научно-практических знаний и отношение студентов к физической культуре. Эти знания необходимы, чтобы понимать природные и социальные процессы функционирования физической культуры общества и личности, уметь их творчески использовать для профессионально-личностного развития, самосовершенствования, чтобы организовать здоровый стиль жизни при выполнении учебной, профессиональной и социокультурной деятельности. Содержание обязательных лекций представлено в настоящем учебнике.

Практический раздел учебного материала состоит из двух подразделов: методико-практического и учебно-тренировочного. Первый подраздел обеспечивает операциональное овладение методами и способами физкультурно-спортивной деятельности для достижения личностью учебных, профессиональных и жизненных целей.

Примерная тематика занятий может включать:

- методику составления индивидуальных программ физического самовоспитания;
- методические основы занятий с оздоровительной, рекреационной и восстановительной направленностью;
- основы методики самомассажа;
- «методику корригирующей гимнастики для глаз»;
- овладение методами оценки и коррекции осанки и телосложения;
- методы самоконтроля состояния здоровья, физического развития и другие, соотнесенные с содержанием соответствующей тематики лекций.

Важное условие закрепления и совершенствования этих методов — многократное воспроизведение в условиях учебных занятий, во внеучебной физкультурно-спортивной деятельности, в быту, на отдыхе.

Освоение второго учебно-тренировочного подраздела помогает приобрести опыт творческой практической деятельности, развить самодеятельность в физической культуре и спорте. Содержание занятий базируется на широком использовании знаний и умений в том, чтобы применять средства физической культуры, использовать спортивную и профессионально-прикладную физическую подготовку для приобретения индивидуального и коллективного опыта физкультурно-спортивной деятельности. На них студенты учатся регулировать свою двигательную активность, поддерживать необходимый уровень физической и функциональной подготовленности в период обучения, приобретают опыт совершенствования к коррекции индивидуального физического развития, учатся использовать средства физической культуры для организации активного отдыха, профилактики общих и профессиональных заболеваний, предотвращения травматизма, овладевают средствами профессионально-прикладной физической подготовки. В процессе занятий создаются условия для активизации познавательной деятельности студентов в области физической культуры, для проявления их социально-творческой активности в пропагандистской, инструкторской, судейской деятельности.

Контрольный раздел занятий обеспечивает оперативную, текущую и итоговую информацию о степени и качестве освоения теоретических и методических знаний-умений, о состоянии и динамике физического развития, физической и профессионально-прикладной подготовленности студентов. Оперативный контроль создает информацию о ходе выполнения конкретного раздела, вида учебной работы. Текущий позволяет оценить степень освоения раздела, темы, вида учебной работы. Итоговый контроль (зачеты, экзамен) выявляет уровень сформированное физической культуры студента и самоопределение в ней путем комплексной проверки.

Чтобы быть допущенным к итоговой аттестации, необходимо выполнить обязательные тесты по общефизической и профессионально-прикладной (физической подготовке (не ниже оценки «удовлетворительно»), предусмотренные в течение последнего семестра обучения (табл. 1.2, 1.3)/

Таблица 1.2. Обязательные тесты физической подготовленности студенток основного и спортивного учебных отделений

| Тест на скорость, силу и выносливость                                                       | Оценка в очках |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                             | 5              | 4     | 3     | 2     | 1     |
| Мужчины                                                                                     |                |       |       |       |       |
| Бег 100 м (с)                                                                               | 13,2           | 13,6  | 14,0  | 14,3  | 14,6  |
| Подтягивание на перекладине (число раз)                                                     | 15             | 12    | 9     | 7     | 5     |
| Бег 3000 м (мин, с)                                                                         | 12.00          | 12.35 | 13.10 | 13.50 | 14.30 |
| Женщины                                                                                     |                |       |       |       |       |
| Бег 100 м (с)                                                                               | 15,7           | 10,0  | 17,0  | 17,1  | 18,7  |
| Поднимание туловища из положения лежа на спине руки за головой, ноги закреплены (число раз) | 60             | 50    | 40    | 30    | 20    |
| Бег 2000 м (мин, с)                                                                         | 10.15          | 10.50 | 11.15 | 11.50 | 12.10 |

Примечание. Упражнения и тесты по профессионально-прикладной подготовке, а также для студентов специального учебного отделения определяет кафедра ФИС.

Аттестация проводится в форме устного опроса по теоретическому и методико-практическому содержанию программы. Студент, завершающий обучение по дисциплине «Физическая культура», должен:

- понимать роль физической культуры в развитии человека и подготовке специалиста;
- знать основы физической культуры и здорового образа жизни;
- иметь мотивационно-ценностное отношение и самоопределился в физической культуре с установкой на здоровый стиль жизни.

Важны физическое совершенствование и самовоспитание, потребность в регулярных занятиях физическими упражнениями и спортом

Таблица 1.3. Контрольные тесты для оценки физической подготовленности студентов основного и спортивного учебных отделений

| Тест                                                               | Оценка и очках |       |       |       |         |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|---------|
|                                                                    | 5              | 4     | 3     | 2     | 1       |
| Мужчины                                                            |                |       |       |       |         |
| Бег 5000 м (мин. с)                                                | 21.30          | 22.30 | 23.30 | 2150  | 25.40   |
| Бег на лыжах 5 км (мин, с)                                         | 23.50          | 25.00 | 26.25 | 27.45 | 28.30   |
| или 10 км (мин, с)                                                 | 50.00          | 52.00 | 55.00 | 58.00 | б/врем. |
| Плавание 50 м (с)                                                  | 40,0           | 44,0  | 48,0  | 57,0  | б/врем. |
| или 100 м (мин, с)                                                 | 1.40           | 1.50  | 2.00  | 2.15  | 2.30    |
| Прыжки в длину с места (см)                                        | 250            | 240   | 230   | 223   | 215     |
| Прыжки в длину с разбега (см)                                      | 480            | 460   | 435   | 410   | 390     |
| или в высоту (см)                                                  | 145            | 140   | 135   | 130   | 125     |
| Сгибание и разгибание рук в упоре на брусьях (число раз)           | 15             | 12    | 9     | 7     | 5       |
| Переворот силов в упор на перекладине (число раз)                  | 8              | 5     | 3     | 9     | 1       |
| Поднимание на висе ног до касания перекладины (число раз)          | 10             | 7     | 5     | 3     | 2       |
| Женщины                                                            |                |       |       |       |         |
| Бег 3000 м (мин, с)                                                | 19.0           | 20.15 | 21.0  | 22.0  | 22.30   |
| Бег на лыжах 3 км (мин, с)                                         | 18.00          | 18.30 | 19.30 | 20.00 | 21.00   |
| или 5 км (мни, с)                                                  | 31.00          | 32.30 | 34.15 | 30.40 | б/врсм. |
| Плавание 50 м (мин, с)                                             | 0.54           | 1.03  | 1.14  | 1.24  | б/врем. |
| пли 100 м (мин, с)                                                 | 2.15           | 2.40  | 3.05  | 3.35  | 4.10    |
| Прыжки в длину с места (см)                                        | 190            | 180   | 168   | 160   | 150     |
| Прыжки в длину с разбега или в высоту (см)                         | 365            | 350   | 325   | 300   | 280     |
| Подтягивание в висе лежа (перекладина на высоте 90 см) (число раз) | 20             | 16    | 10    | 6     | 4       |
| Приседание на одной ноге с опорой рукой о стенку (число раз)       | 12             | 10    | 8     | 6     | 4       |

При итоговой аттестации в окончательной оценке учитывается уровень выполнения студентом практического раздела программы.

Освоить содержание дисциплины «Физическая культура» необходимо за 408 учебных часов, его можно

дополнить элективными (по выбору) и факультативными курсами различной направленности, учитывающими индивидуальность студента, его мотивы, интересы, потребности.

Для практических занятий студентов распределяют по учебным отделениям: основному, специальному, спортивному. Распределение проводится в начале учебного года после медицинского обследования с учетом состояния здоровья, пола, физического развития, физической и спортивной подготовленности, интересов. Студенты, не прошедшие медицинского обследования, к практическим учебным занятиям не допускаются.

В основное отделение зачисляются те, кто отнесен в основную и подготовительную медицинские группы. В специальное учебное отделение зачисляются студенты, отнесенные к специальной медицинской группе, с учетом уровня их функционального состояния, пола.

Тех, кто по состоянию здоровья освобожден от практических занятий на длительный срок, зачисляют в специальное учебное отделение для освоения доступных разделов программы.

В спортивное отделение, состоящее из учебных групп по видам спорта (системам физических упражнений), зачисляют студентов основной медицинской группы, показавших хорошую общую физическую и спортивную подготовленность и проявивших желание углубленно заниматься одним из видов спорта, организованном в вузе. Студенты этого отделения, имеющие высокую спортивную квалификацию, могут быть переведены на индивидуальный график занятий, но с обязательным выполнением в установленные сроки зачетных требований.

Перевести студента из одного учебного отделения в другое можно по его желанию только после успешного окончания семестра или учебного года. Перевод студентов в специальное учебное отделение на основе медицинского заключения может производиться в любое время учебного года.

При проведении зачетов студенты, освобожденные на длительный период от практических занятий, выполняют письменную тематическую контрольную работу, связанную с характером их заболевания, и сдают зачет по теоретическому разделу программы.

В физическом воспитании студентов используются разнообразные формы учебных и внеучебных занятий на протяжении всего периода обучения в вузе.

Учебные занятия проводятся в форме:

- теоретических, практических, контрольных;
- элективных методико-практических и учебно-тренировочных занятий;
- индивидуальных и индивидуально-групповых дополнительных занятий или консультаций;
- самостоятельных занятий по заданию и под контролем преподавателя;

Внеучебные занятия организуются в форме:

- выполнения физических упражнений и рекреационных мероприятий в режиме учебного дня;
- занятий в спортивных клубах, секциях, группах по интересам;
- самостоятельных занятий физическими упражнениями, спортом, туризмом;
- массовых оздоровительных, физкультурных и спортивных мероприятий.

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

М.В. Покотыло

**РУССКИЙ ЯЗЫК И ДЕЛОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ**

Методические указания по освоению дисциплины обучающихся  
по гуманитарным специальностям

*Утверждено*  
*учебно-методическим советом*  
*университета*

Ростов-на-Дону  
2019

УДК 4Р + ББК 71я7 + 06

Рецензент: кандидат филологических наук, доцент  
М.А. Кравченко (РГУПС)

**Покотыло. М.В.**

Русский язык и деловые коммуникации: методические указания по освоению дисциплины обучающимися по гуманитарным специальностям / М.В. Покотыло; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 42 с.

В методических указаниях изложены содержание дисциплины, требования, предъявляемые к уровню ее освоения, приведены темы практических занятий и вопросы к ним, темы, вынесенные на самостоятельное изучение, с описанием основных форм и видов самостоятельной работы обучающихся, требования, предъявляемые к контрольной работе, приведены варианты контрольных работ, а также вопросы к зачету, перечень рекомендуемой литературы и информационно-методических ресурсов сети Интернет.

Методические указания предназначены для освоения дисциплины «Русский язык и деловые коммуникации» бакалаврами, обучающихся по гуманитарным специальностям 42.03.01 Реклама и связи с общественностью, 43.03.02 Туризм, 43.03.03 Гостиничное дело, но могут быть использованы при подготовке и студентами специалитета в процессе освоения дисциплин «Русский язык», «Русский язык и профессиональная коммуникация», «Русский язык и культура речи».

Одобрено к изданию кафедрой «Массовые коммуникации и прикладная лингвистика» и ученым советом гуманитарного факультета Ростовского государственного университета путей сообщения.

© Покотыло М.В., 2019  
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2019



## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                         | 4  |
| Содержание дисциплины.....                                                             | 4  |
| Требования к уровню освоения дисциплины.....                                           | 6  |
| Темы практических занятий .....                                                        | 7  |
| Организация самостоятельной работы обучающихся по изучению<br>дисциплины .....         | 10 |
| Темы для самостоятельного изучения дисциплины .....                                    | 23 |
| Требования, предъявляемые к контрольным работам .....                                  | 26 |
| Контрольные работы по русскому языку и деловым коммуникациям (10 вариан-<br>тов) ..... | 27 |
| Вопросы к зачету .....                                                                 | 36 |
| Библиографический список.....                                                          | 39 |

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Русский язык и деловые коммуникации» является изучение принципов и особенностей функционирования русского языка в современном мире, формирование и развитие у будущего специалиста – участника профессионального общения – коммуникативной компетенции, повышение уровня языковой образованности, практического владения современным русским литературным языком.

Для достижения данной цели поставлены задачи ведения дисциплины:

- дать представление о законах функционирования русского литературного языка, тенденциях его развития, современной языковой ситуации, этико-социальных нормах общения и национально-культурной специфике речевого поведения;
- познакомить с системой норм современного русского языка, научить работать с лингвистическими словарями и справочниками, совершенствовать навыки нормативно-грамотной речи;
- сформировать культуру письменной и устной речи будущих инженеров;
- сформировать навыки использования в официально-деловых и научных текстах адекватных языковых средств.

Процесс изучения данной дисциплины направлен на формирование универсальной компетенции – способности осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации(УК-4).

В результате изучения данной дисциплины обучающийся должен

### **Знать:**

- профессиональную лексику и базовую грамматику необходимую для обеспечения профессионального взаимодействия в устной и письменной формах на русском языке;
- фонетические, графические, лексические, грамматические и стилистические ресурсы русского языка необходимые для обеспечения академического взаимодействия;
- основные формы коммуникации, принципы и особенности применения современных коммуникативных технологий в академической и профессиональной деятельности.

### **Уметь:**

- использовать профессиональную лексику и базовую грамматику необходимую для обеспечения профессионального взаимодействия в устной и письменной формах;
- использовать фонетические, графические, грамматические и стилистические ресурсы русского языка необходимые для подготовки различных жанров научного стиля (докладов, рефератов, курсовых работ);
- анализировать источники информации, применять полученные знания в академической и профессиональной деятельности с использованием современных коммуникативных технологий.

### **Иметь навыки:**

- составления профессиональных текстов с использованием лексики и базовой грамматики для взаимодействия;
- поиска достоверной научной информации в сети Интернет;
- осуществления деловой коммуникации в устной и письменной форме на русском языке, применения современных коммуникативных технологий в академической и профессиональной деятельности.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Ниже приведены разделы, темы и понятия, с помощью которых определяется основное содержание дисциплины. Дидактические единицы дисциплины соответствуют Федеральному государственному образовательному стандарту:

### **1. Язык как важнейший компонент национальной культуры.**

- 1.1. Становление и развитие русского языка.
- 1.2. Формы существования национального языка: 1) диалекты; 2) жаргоны; 3) просторечие; 4) литературный язык.
- 1.3. Функции языка.
- 1.4. Язык и речь: 1) соотношение понятий язык и речь; 2) понятие "коммуникация"; 3) понятие "культура речи".
- 1.5. Язык как система: 1) язык как знаковая система передачи информации; 2) язык как вторая сигнальная система.

### **2. Нормативная база современного русского литературного языка.**

- 2.1. Языковая норма, ее признаки и роль в становлении и функционировании литературного языка: 1) понятие "языковая норма"; 2) основные признаки языковой нормы.
- 2.2. Способы нормирования русского литературного языка: 1) виды норм безотносительно к уровневой структуре языка; 2) краткая характеристика норм литературного языка.

### **3. Особенности публичной речи, аргументации, ведения дискуссии.**

- 3.1. Публичная речь как особая форма речевой деятельности: 1) понятие "публичная речь"; 2) особенности устной публичной речи; 3) основные типы публичных речей.
- 3.2. Оратор и аудитория: 1) понятие "ораторское искусство"; 2) роды красноречия; 3) понятие "оратор"; 4) качества, необходимые оратору; 5) аудитория и ее основные характеристики; 6) контакт оратора с аудиторией и его характеристики.
- 3.3. Аргументация: 1) основные виды аргументов; 2) основные методы изложения материала; 3) дискуссия как особая форма публичных выступлений: понятия "дискуссия", "аргумент" и "контраргумент".

### **4. Коммуникативные особенности современного русского литературного языка.**

- 4.1. Понятие "речевая коммуникация": 1) структура коммуникативного акта; 2) единицы речи, организация речевого взаимодействия; 3) понятие "коммуникативная компетенция".

4.2. Условия успешного общения: 1) понятие об эффективной речевой коммуникации; 2) стратегия и тактика речевого общения; 3) понятие "позитивный коммуникационный климат".

#### **5. Система функциональных стилей речи в современном русском литературном языке.**

5.1. Понятия "функциональный стиль", "подстиль", "жанр".

5.2. Общая характеристика официально-делового стиля речи.

5.3. Общая характеристика научного стиля речи.

5.4. Общая характеристика публицистического стиля речи.

5.5. Вопрос о художественном стиле речи в лингвистике. Общая характеристика художественного стиля речи.

5.6. Общая характеристика разговорного стиля речи.

#### **6. Академическая коммуникация.**

6.1. Конструктивные и языковые особенности научного стиля речи.

6.2. Жанровое своеобразие научного стиля речи.

6.3. Применение современных коммуникативных технологий в академической деятельности: 1) презентации; 2) вебинары; 3) онлайн-конференции.

#### **7. Профессиональная (деловая) коммуникация.**

7.1. Конструктивные и языковые особенности официально-делового стиля речи.

7.2. Жанровое своеобразие официально-делового стиля речи.

7.3. Особенности профессиональной коммуникации в современных условиях: 1) понятия "документ", "служебный документ"; 2) соблюдение делового этикета в письменной и устной профессиональной коммуникации.

### **ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ УСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Вы должны знать (обладать знаниями на минимальном уровне):**

- Нормы современного русского литературного языка;
- психологические особенности межличностной коммуникации;
- структуру коммуникативного акта, его необходимых элементов;
- особенности вербальной и невербальной коммуникации;
- особенности коммуникации в научной деятельности;
- особенности межкультурной коммуникации;
- основные характеристики различных форм научной и профессиональной коммуникации (конференции, симпозиумы, научные совещания и форумы, деловые переговоры, собеседование, деловая переписка);
- специфику публичных выступлений (доклады, научные дискуссии, интервью) как форм профессиональной деятельности;
- этику речевого поведения в профессиональной деятельности.

#### **Вы должны уметь (обладать умениями на базовом уровне):**

- анализировать полученную из различных источников информацию с точки ее достоверности и значимости;

- находить нестандартные и максимально продуктивные способы решения поставленных задач в рамках профессиональной коммуникации;
- создавать научные и официально-деловые тексты различных жанров в зависимости от поставленных задач;
- применять на практике знания из области интегрированных коммуникаций в повседневной и профессиональной деятельности;
- вести дискуссию;
- осуществлять коммуникацию в устной и письменной форме, соблюдая нормы речевого и делового этикета;
- управлять собственными эмоциями в процессе межличностного общения в рамках профессиональной работы;
- толерантно воспринимать индивидуально-психологические особенности участников коммуникации.

**Вы должны владеть (овладеть умениями на высоком уровне):**

- методиками сбора, переработки и представления научно-технических материалов по результатам исследований к опубликованию к печати, а также в виде обзоров, рефератов, отчетов, докладов, лекций;
- навыками анализа полученной информации и определения степени ее достоверности и значимости;
- навыками создания научных текстов различного жанра;
- навыками создания официально-деловых текстов различного жанра;
- навыками устной межличностной коммуникации;
- навыками публичных выступлений в сфере профессиональной деятельности;

## **ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

**Занятие № 1. Понятие "современный русский литературный язык" (специфика понятия, отличие литературного языка от других форм существования национального языка). Языковая система и языковые уровни (4 часа)**

### ***Вопросы***

- 1 Дайте определение понятию «современный русский литературный язык».
- 2 Кто является основоположником современного русского литературного языка?
- 3 Каковы функции выполняет язык как знаковая система?
- 4 Охарактеризуйте современное состояние русского языка.
- 5 Какие пласты можно выделить в современном русском языке.
- 6 Чем отличается литературный язык от нелитературных форм?

**Занятие № 2. Виды норм в соответствии с уровневой структурой современного русского литературного языка. Упражнения на совершенствование всех видов норм (6 часов)**

### ***Вопросы***

1 Проанализируйте предложенные разными лингвистами определения языковой нормы, выделите ее ключевые характеристики. Попробуйте сформулировать свое собственное определение.

2 Какова основная функция языковой нормы?

3 Почему мы говорим об исторической и социальной обусловленности языковой нормы?

4 По каким признакам классифицируются языковые нормы?

5 Какими бывают нормы в соответствии с уровнями языка?

6 Приведите примеры искусственно введенных норм русского языка.

7 Где отражены нормы литературного языка? Охарактеризуйте основные виды словарей и справочников русского языка.

8 Проанализируйте основные справочные языковые интернет-ресурсы, рекомендованные преподавателем. Отработайте навык поиска необходимой информации в них. Какими словарями вам пользоваться удобнее? Охарактеризуйте плюсы и минусы использования электронных словарей и отразите результаты в таблице.

9 Чем нормы устной речи отличаются от норм письменной речи?

**Занятие № 3. Анализ образцовых ораторских речей. Личность оратора; качества, необходимые хорошему оратору; подготовка оратора к выступлению. Выступление с подготовленной и импровизированной речью на выбранную или заданную преподавателем тему с последующим анализом по предложенной схеме. Коммуникационная игра. Отработка навыка дискуссии (6 часов)**

### ***Вопросы***

1 Назовите основные этапы формирования ораторского искусства.

2 Кто является родоначальником риторики?

3 Дайте определение понятию «риторический идеал». Каковы основные признаки русского риторического идеала?

4 Дайте определение понятию «риторический канон». Назовите и охарактеризуйте составные части риторического канона.

5 Назовите известных отечественных адвокатов и юристов, прославившихся своими публичными выступлениями во время судебных заседаний.

6 Охарактеризуйте роды и виды красноречия.

7 В чем специфика судебного красноречия?

8 В чем специфика академического красноречия?

9 Охарактеризуйте социально-политический род красноречия.

10 Оцените особенности публичных выступлений современных российских политиков (В.В. Путина, Г.А. Зюганова, В.В. Жириновского, Д.А. Медведева).

11 Охарактеризуйте социально-бытовой род красноречия.

12 Подготовьте и выступите с докладом на предложенную преподавателем тему.

**Занятие № 4. Функционально-смысловые типы речи; анализ и создание текстов в различных стилях речи**  
(4 часа)

***Вопросы***

- 1 Что общего и что различного в понятиях «язык» и «речь»?
- 2 Охарактеризуйте существующие классификации разновидностей речи.
- 3 Какие виды речи существуют в зависимости от количества участников общения? Дайте им характеристику.
- 4 Перечислите и охарактеризуйте функционально-смысловые типы речи.

**Занятие № 5. Анализ научных текстов профессиональной направленности. Применение современных коммуникативных технологий в научной деятельности (на примере создания презентаций на выбранную или заданную преподавателем тему)**  
(4 часа)

***Вопросы***

- 1 Перечислите функциональные стили русского языка.
- 2 Дайте определение понятию «функциональный стиль». На основании каких признаков выделяются функциональные стили?
- 3 Охарактеризуйте языковые особенности разговорного стиля.
- 4 Охарактеризуйте языковые особенности публицистического стиля и стиля художественной литературы.
- 6 Что такое рубрикация?
- 7 Что такое рабочее оглавление и каковы его функции?
- 8 Каковы основные композиционные ошибки и как их устранить?
- 9 Перечислите основные композиционные приемы.
- 10 Перечислите известные вам методы изложения материала.
- 11 Что такое межстилевое взаимодействие?
- 12 Охарактеризуйте основные элементы научной презентации.
- 13 Подготовьте презентацию на предложенную преподавателем тему.

**Занятие № 6. Анализ научных текстов профессиональной направленности. Применение современных коммуникативных технологий в научной деятельности (на примере создания презентаций на выбранную или заданную преподавателем тему).**  
(4 часа)

***Вопросы***

- 1 Охарактеризуйте сферу функционирования и языковые признаки научного стиля речи.
- 2 Что такое термины? В чем их отличие от профессионализмов?
- 3 Чем научные тексты отличаются от текстов другой функционально-стилевой принадлежности?
- 4 Какие жанры научных текстов вам известны? Охарактеризуйте их.
- 5 В чем разница между письменными научными текстами и научными текстами, предназначенными для произнесения вслух?
- 6 Напишите аннотацию и рецензию на предложенную научную статью.
- 7 Составьте конспект предложенной научной статьи.

### **Занятие № 7. Анализ и составление официально-деловых текстов различных жанров. Особенности международной профессиональной коммуникации (4 часа)**

#### ***Вопросы***

- 1 Охарактеризуйте сферу функционирования и языковые признаки официально-делового стиля.
- 2 Дайте определения понятиям «документ» и «служебный документ». Что такое унификация служебных документов?
- 3 Какие способы унификации вам известны?
- 4 Что такое стандартизация документов?
- 5 Какие виды стандартов вам известны?
- 6 Какие функции выполняют стандартизация и унификация документов?
- 7 Выделите в предложенном тексте клише, характерные для официально-деловой речи.
- 8 Составьте официально-деловой текст в одном из заданных жанров (заявление, приказ, объяснительная, служебная, докладная записка, расписка, доверенность, характеристика, автобиография, резюме).
- 9 Составьте протокол сегодняшнего занятия.
- 10 Дискуссия на тему «Какую роль в официально-деловом общении играет речевой этикет?».
- 11 Составьте официально-деловое письмо (рекламацию, запрос, комментарий, ответ на запрос, коммерческое предложение) на заданную тему с соблюдением в документе норм речевого этикета.
- 12 Каковы интернациональные свойства русской официально-деловой письменной речи?

### **ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Самостоятельная работа студентов – особая форма организации учебного процесса, представляющая собой планируемую, познавательную, организационно и методически направляемую деятельность студентов, ориентированную



на достижение конкретного результата без прямой помощи преподавателя»<sup>1</sup>. Это «дидактическое средство обучения как искусственная педагогическая конструкция, с помощью которой преподаватель организует и управляет самостоятельной деятельностью обучающихся»<sup>2</sup>.

Самостоятельная работа в современном образовательном процессе, все чаще включающем дистанционную компоненту, становится одним из основных способов подготовки специалистов.

Самостоятельная работа обучающихся (СРО) – это метод обучения и самообразования, заключающийся в постановке целей и задач самостоятельной работы, ее планировании, в определении способов мобилизации собственных личностных ресурсов и самоконтроле. СРО имеет большое значение: это существенный компонент теоретической и практической подготовки обучающихся к предстоящей профессиональной деятельности, основа для формирования необходимых компетенций специалиста, интеллектуальных и психологических качеств личности. В современных условиях велико значение ответственности самого обучающегося как за свою учебную деятельность, так и за развитие собственного кругозора, знаний – как конкретно-предметных, так и общего содержания, а также за умение применять полученные в процессе самостоятельной работы знания на практике.

СРО представляет собой достаточно гибкую систему заданий различной степени сложности и трудозатрат, отвечающую следующим целям:

- 1) приобретение необходимого уровня профессиональных и общекультурных знаний;
- 2) усвоение необходимых профессиональных навыков и умений;
- 3) формирование и накопление опыта исследовательской деятельности;
- 4) формирование собственной, активной профессиональной позиции.

Так как в целом под самостоятельной работой обучающихся необходимо понимать такую учебную деятельность, которую они выполняют самостоятельно в рамках учебного курса по заданию преподавателя и под его контролем, то можно сказать, что эта учебная деятельность является специфическим методом научного познания, следовательно, преследует определенную познавательную цель<sup>3</sup>.

Под самостоятельным изучением тем и вопросов по дисциплине «Русский язык и основы редактирования» понимается освоение материала путем подготовки сообщений (для обучающихся по очной форме обучения в соответствии с планом проведения практических занятий), а также конспектирование основной и дополнительной литературы по заявленным темам (для обучаю-

---

<sup>1</sup> Ермаков, А.Л. Основы самостоятельной работы обучающихся / А.Л. Ермаков, Н.А. Галатенко / Под ред. И.И. Рубина. – М : МГТА, 2016.

<sup>2</sup> Пидкасистый, П.И. Самостоятельная деятельность учащихся / П.И. Пидкасистый. – М : Педагогика, 2002. – С. 44.

<sup>3</sup> Журавлева, Ж.А. Самостоятельная работа студентов и ее роль в процессе становления личности молодого специалиста / Ж.А. Журавлева, Э.В. Плотников, В.А. Филипьев // Социальные проблемы формирования молодежи. – Свердловск, 2009. – С. 119–123.

щихся по очной форме обучения в соответствии с планом проведения практических занятий, для заочной формы обучения по всем темам, заявленным для самостоятельного изучения).

Материалы сообщений и конспекты не рецензируются, остаются у обучающегося и могут быть использованы в процессе подготовки к текущему тестированию и зачету по дисциплине «Русский язык и основы редактирования».

## **Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы основных видов и форм**

### *Методические рекомендации по конспектированию<sup>4</sup>*

Основное требование к конспекту отражено уже в его определении – «систематическая, логически связанная запись, отражающая суть текста». Это одно из основных требований, предъявляемых к конспекту по существу. Поэтому нельзя поставить знак равенства между выписками по изучаемому тексту и его конспектом. Конспект – универсальный документ, который должен быть понятен не только его автору, но и другим людям, знакомящимся с ним. По этой же причине к конспектам можно с успехом обращаться через несколько (или много) лет после их написания. В отличие от тезисов, содержащих только основные положения, и выписок, которые отображают материал в любых соотношениях главного и второстепенного, конспекты при обязательной краткости содержат кроме основных положений и выводов факты и доказательства, примеры и иллюстрации.

На страницах конспекта может быть отражено отношение самого конспектирующего к тому материалу, над которым он работает. Но надо так организовать текст, чтобы впоследствии при использовании своей записи легко можно было разобраться, где авторское, а где личное, читательское, понимание вопроса.

Прежде чем начать конспектировать, необходимо уяснить особенности разных видов конспектов. Конспекты можно условно разделить на несколько видов.

**План-конспект.** Готовится с помощью предварительно сделанного плана произведения, который разрабатывается специально для написания конспекта. Может использоваться и план, составленный ранее в качестве самостоятельной записи. Каждому вопросу плана в такой записи отвечает определенная часть конспекта. Однако, если пункт плана не требует дополнений и разъяснений, он не сопровождается текстом. Это одна из особенностей стройного, ясного и короткого плана-конспекта.

Являясь, по сути, сжатым пересказом прочитанного с учетом целей конспектирования, этот вид конспекта – один из наиболее продуктивных, поскольку помогает лучше усвоить материал еще в процессе его изучения. Содержание книги закрепляется в памяти уже при создании конспекта. Он учит последова-

---

<sup>4</sup> Методические рекомендации по конспектированию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knigi.link/osnovyi-pedagogiki/metodicheskie-rekomendatsii-konspektirovaniyu-52652.html>.

тельно и четко излагать свои мысли, работать над книгой, обобщая ее содержание в формулировках плана. При наличии навыка составление конспекта не требует много времени. Благодаря многим преимуществам (краткости, простоте и ясности формулировок) он становится незаменимым пособием, если необходимо быстро подготовить доклад, выступление.

Однако по прошествии времени с момента написания конспекта работать с ним трудно, так как не всегда легко удастся восстановить в памяти содержание источника. Как вариант плана-конспекта составляется схематический план-конспект, т.е. схема, отражающая логическую структуру и взаимосвязь отдельных положений с необходимыми пояснениями.

Этапы работы над планом-конспектом:

- 1) составьте план прочитанного текста;
- 2) передайте суть каждого пункта плана кратко и доказательно – в виде текста или схемы;
- 3) запишите план (схему) с пояснениями.

**Вопросно-ответный конспект.** Это один из самых простых видов плана-конспекта. На пункты плана, выраженные в вопросительной форме, даются точные ответы.

Этапы работы над вопросно-ответным конспектом:

- 1) составьте план прочитанного текста;
- 2) сформулируйте каждый пункт плана в виде вопроса;
- 3) запишите ответы на поставленные вопросы.

**Тезисный конспект** представляет собой сжатый, в форме кратких тезисов, пересказ прочитанного или услышанного. Такой конспект быстро составляется и запоминается, учит выбирать главное, четко и логично излагать мысли, дает возможность усвоить материал еще в процессе его изучения. Он служит хорошим подспорьем, если нужно оперативно подготовить доклад, выступление. Тем не менее работать с тезисным конспектом через некоторое время трудно, так как содержание материала плохо восстанавливается в памяти.

Этапы работы над тезисным конспектом:

- 1) составьте план прочитанного текста;
- 2) сформулируйте кратко и доказательно каждый пункт плана в виде тезиса, выберите разумную и эффективную форму записи;
- 3) запишите тезис.

**Цитатный конспект.** Это конспект, созданный из отрывков подлинника – цитат. При этом цитаты должны быть связаны друг с другом цепью логических переходов. Цитатный конспект – прекрасный источник дословных высказываний автора, а также приводимых им фактов. Он поможет определить ложность положений автора или выявить спорные моменты, которые значительно труднее найти по пересказу – свободному конспекту. В последнем случае все равно потребовалось бы вновь обратиться к подлиннику для поправок и уточнений. Отсюда следует вывод о целесообразности применения цитатных конспектов при изучении материалов для сравнительного анализа положений, выдвинутых рядом авторов.

Существенный недостаток цитатного конспекта в том, что он не активи-

зирует внимание и память резко (если, конечно, он заранее не был призван стать пособием для сравнения разных точек зрения). Иногда увлеченность выписками цитат может привести к тому, что суть анализируемого текста окажется размытой. Часто цитатный конспект служит только иллюстрацией к изучаемой теме.

Этапы работы над цитатным конспектом:

- 1) прочитайте текст, отметьте в нем основное содержание, главные мысли, выделите те цитаты, которые войдут в конспект;
- 2) пользуясь правилами сокращения цитат, выпишите их в тетрадь;
- 3) прочтите написанный текст, сверьте его с оригиналом;
- 4) сделайте общий вывод.

**Тематический конспект.** Это конспект ответа на поставленный вопрос или конспект учебного материала темы. Составление тематического конспекта учит работать над темой, всесторонне обдумывая ее, анализируя различные точки зрения на один и тот же вопрос.

Создавая тематический конспект, порой приходится привлекать личный опыт, наблюдения, рыться в памяти, вспоминая событие, факт, мысль, теорию, наконец книгу, в которой встретилось когда-то то или иное нужное в этот момент положение. Так автор конспекта постепенно приучает себя мобилизовать свои знания. Большую пользу можно извлечь из рабочего каталога, картотеки, ранее составленных конспектов, других записей. Можно использовать так называемый обзорный тематический конспект. В этом случае составляется тематический обзор на определенную тему с использованием одного или, чаще, нескольких источников.

К обзорному тематическому конспекту можно отнести и хронологический конспект, в котором запись подчинена построению в порядке последовательности событий.

Этапы работы над тематическим конспектом:

- 1) изучите несколько источников и сделайте из них выборку материала по определенной теме или хронологии;
- 2) мысленно оформите прочитанный материал в форме плана;
- 3) пользуясь этим планом, кратко, своими словами изложите изученный материал;
- 4) составьте перечень основных мыслей, содержащихся в тексте, в форме простого плана.

Существуют и общие требования ко всем видам конспектов: системность и логичность изложения материала; краткость; убедительность и доказательность.

Ясность и краткость конспекта достигается через усвоение мыслей автора и возможность их изложения своими словами. При этом необходимо отметить, что ясность и краткость конспекта не должны противоречить требованиям полноты и точности, без которых конспект может превратиться в свободное изложение содержания изучаемой работы.

В ходе изучения литературы необходимо вести записи, состоящие из наиболее принципиальных цитат и собственных предварительных соображений по

отдельным составным частям исследуемой проблемы.

По основополагающим источникам целесообразно составлять сжатый либо развернутый план-конспект. Знакомясь с литературой, следует делать выписки. Прежде всего надо уметь найти и выбрать нужное теоретическое положение, статистические данные, интересные философские высказывания. Выписывать можно дословно (цитатами) или в свободном переложении либо чередовать способы конспектирования. Но в любом случае необходимо делать ссылку на источник. Выписки лучше всего делать на отдельных листах-карточках. Такие листы удобно хранить в конвертах, пометив каждый номером пункта плана. В тексте выписок следует выделять заголовки, а важные понятия, определения, отдельные фрагменты записей подчеркивать. Кроме того, на полях листа-карточки по ходу выписки полезно делать пометки, которые помогут сориентироваться при повторном обращении к этому тексту.

Выберите вид конспекта, который наиболее целесообразен именно для осуществления стоящей перед вами задачи. Ознакомьтесь с этапами работы над конспектом и приступайте к их практическому воплощению.

### ***Методические рекомендации по написанию реферата***

Написание реферата является одним из наиболее распространенных видов самостоятельной работы студентов при изучении какого-либо учебного курса.

**Реферат** (от лат. *refero* – ‘сообщаю’) – это краткое изложение в письменном виде или в форме публичного доклада содержания научного труда (трудов), литературы по теме<sup>5</sup>. Он включает в себя обзор первоисточников, историко-психологической и научно-теоретической литературы, в том числе специальной периодики. Реферат представляет собой сокращенное отображение реферируемого произведения. Главным его достоинством является по возможности точное воспроизведение предмета реферирования. Если же при подготовке реферата автор хочет выразить свои мысли, то он должен с помощью тех или иных приемов (например, путем заключения в скобки указания своих инициалов) отличить их от содержания реферируемого произведения.

Смысл реферирования – уплотнение информации, имеющейся в том или ином научном тексте, для получения краткого, сжатого содержания статьи, главы книги, монографии и т.д. Главная задача реферирования состоит в том, чтобы при небольшом объеме реферата сохранить как можно больше значимой и информации, чтобы потеря информации практически не коснулась важных и существенных сведений, содержащихся в тексте.

Основной целью работы над рефератом является приобретение навыка библиографического поиска необходимой литературы, анализа различных источников по той или иной теме и грамотного письменного изложения. Задачей реферирования является подробное изучение выбранной проблемы с

---

<sup>5</sup> Большой энциклопедический словарь [Электронный ресурс] // Академик. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/254834>.

возможностью дальнейшего исследования данного вопроса при написании курсовой или дипломной (выпускной квалификационной) работы. Реферат должен способствовать формированию навыков исследовательской работы, умения критически мыслить, анализировать, сравнивать, формировать суждения, классифицировать и делать самостоятельные выводы.

Работа над рефератом состоит из нескольких этапов: выбор темы; изучение литературы; создание и оформление текста реферата. Последний этап заключается в том, что на основе выполненного реферата составляется текст 5–10-минутного доклада, выносимого на защиту в ходе семинарского занятия. В докладе должны быть освещены цели и задачи реферативного исследования, а также общие выводы и результат.

Структура реферата:

1. Текст реферата предваряет *библиографическое описание* реферируемого источника (источников).

2. Далее следует непосредственно *текст реферата*. Реферат дает ответ на вопрос, что нового содержится в первоисточнике, передает основное содержание первоисточника, а также проблемную информацию, содержащуюся в нем.

3. В *примечании* необходимо высказать свое отношение к изложенному (выводы, оценки, предположения).

Рефераты могут *быть* монографические, то есть составленные по одному первоисточнику, и обзорные, то есть составленные по нескольким работам на одну тему. Объем реферата определяется содержанием первоисточников и может колебаться от 5 до 15 машинописных листов.

Любой реферат должен состоять из трех частей: введения, основной части и заключения.

Во введении обосновывается выбор темы реферата, ее актуальность для науки вообще и для изучения данного учебного курса в частности. Также во введении дается краткая характеристика первоисточников (жанр, цели и задачи авторов). В этой части реферата может быть дан перечень ключевых слов, т.е. слова и словосочетания, выражающие понятия, существенные для понимания данной проблемы.

В основной части реферата передается содержание изученных первоисточников по данной проблеме. При необходимости (если работа затрагивает ряд проблем) данная часть работы может содержать несколько глав.

В заключении студент приводит собственные выводы по материалам изученных первоисточников, высказывает аргументированное согласие или несогласие с позицией или точкой зрения авторов.

При цитировании текста первоисточника или научно-теоретической работы цитаты необходимо заключать в кавычки и ссылаться на источник. В ссылке указываются фамилия, инициалы автора, название работы, место и год издания, страница. Цитирование без ссылок на источник недопустимо.

### *Методические рекомендации по подготовке сообщения<sup>6</sup>*

Регламент устного публичного выступления определяется преподавателем, но обычно составляет не более 5–7 минут.

Искусство устного выступления заключается не только в отличном знании предмета речи, но и в умении преподнести свои мысли и убеждения правильно, упорядоченно, красноречиво и увлекательно.

Любое устное выступление должно удовлетворять трем основным критериям, которые в конечном итоге и приводят к успеху:

- 1) правильности, то есть соответствия языковым нормам;
- 2) смысловой адекватности, то есть соответствия содержания выступления реальности;
- 3) эффективности, то есть соответствия достигнутых результатов поставленной цели.

Работу по подготовке устного выступления можно разделить на два основных этапа: докоммуникативный этап (подготовка выступления) и коммуникативный этап (взаимодействие с аудиторией).

Работа по подготовке устного выступления начинается с формулировки темы. Лучше всего тему сформулировать таким образом, чтобы ее первое слово обозначало наименование полученного в ходе выполнения проекта научного результата (например, «Технология изготовления...», «Модель развития...», «Система управления...», «Методика выявления...» и пр.). Тема выступления не должна быть перегруженной, поскольку охват большого количества вопросов приведет к их беглому перечислению, к декларативности вместо глубокого анализа. Неудачные формулировки – слишком длинные или слишком краткие и общие, очень банальные и скучные, не содержащие проблемы, оторванные от дальнейшего текста и т.д.

Само выступление должно состоять из трех частей: вступления (10–15 % общего времени), основной части (60–70 %) и заключения (20–25 %).

Вступление включает в себя представление авторов (фамилия, имя отчество, при необходимости место учебы/работы, статус), название доклада, расшифровку подзаголовка с целью точного определения содержания выступления, четкое определение стержневой идеи. Стержневая идея проекта понимается как основной тезис, ключевое положение. Стержневая идея дает возможность задать выступлению определенную тональность. Сформулировать основной тезис означает ответить на вопрос, зачем говорить (цель) и о чем говорить (средства достижения цели).

Требования к основному тезису выступления:

- фраза должна утверждать главную мысль и соответствовать цели выступления;
- суждение должно быть кратким, ясным, легко удерживаться в кратковременной памяти;
- мысль должна пониматься однозначно, не заключать в себе противоре-

---

<sup>6</sup> Составлено по материалам сайта: Методические рекомендации по подготовке сообщения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://allrefs.net/c21/4d4it/p2/?full>.

чия.

В речи может быть несколько стержневых идей, но не более трех.

Самая частая ошибка в начале речи – либо извиняться, либо заявлять о своей неопытности.

Результатом вступления должны быть заинтересованность слушателей, внимание и расположенность к презентатору и будущей теме.

К аргументации в пользу стержневой идеи проекта можно привлекать фото-, видеофрагменты, аудиозаписи, фактический материал. Цифровые данные для облегчения восприятия лучше демонстрировать посредством таблиц и графиков, а не злоупотреблять их зачитыванием. Лучше всего, когда в устном выступлении количество цифрового материала ограничено, на него лучше ссылаться, а не приводить полностью, так как обилие цифр скорее утомляет слушателей, нежели вызывает интерес.

План развития основной части должен быть ясным. Должно быть отобрано оптимальное количество фактов и необходимых примеров.

В научном выступлении принято особое употребление форм слов. Чаще используются глаголы настоящего времени во «вневременном» значении, возвратные и безличные глаголы, преобладают формы 3-го лица глагола, несовершенного вида, используются неопределенно-личные предложения. Перед тем как использовать в своей презентации корпоративный и специализированный жаргон или термины, следует быть уверенным, что аудитория поймет, о чем говорится.

Если использование специальных терминов и слов, которые часть аудитории может не понять, необходимо, следует дать краткую характеристику каждому из них при первом употреблении их в процессе презентации.

Самые частые ошибки в основной части доклада – выход за пределы рассматриваемых вопросов, перекрывание пунктов плана, усложнение отдельных положений речи, а также перегрузка текста теоретическими рассуждениями, обилие затронутых вопросов (декларативность, бездоказательность), отсутствие связи между частями выступления, несоразмерность частей выступления (затянутое вступление, скомканность основных положений, заключения).

В заключении необходимо сформулировать выводы, которые следуют из основной идеи (идей) выступления. Правильно построенное заключение способствует хорошему впечатлению от выступления в целом. В заключении имеет смысл повторить стержневую идею и, кроме того, вновь (в кратком виде) вернуться к тем моментам основной части, которые вызвали интерес слушателей. Закончить выступление можно решительным заявлением.

Вступление и заключение требуют обязательной подготовки, их труднее всего создавать на ходу. Психологи доказали, что лучше всего запоминается сказанное в начале и в конце сообщения («закон края»), поэтому вступление должно привлечь внимание слушателей, заинтересовать их, подготовить к восприятию темы, ввести в нее (не вступление важно само по себе, а его соотнесение с остальными частями), а заключение должно обобщить в сжатом виде все сказанное, усилить и сгустить основную мысль, оно должно быть таким, «чтобы слушатели почувствовали, что дальше говорить нечего» (А.Ф. Кони).



После подготовки текста/плана выступления полезно проконтролировать себя вопросами:

- Вызывает ли мое выступление интерес?
- Достаточно ли я знаю по данному вопросу, и имеется ли у меня достаточно данных?
- Смогу ли я закончить выступление в отведенное время?
- Соответствует ли мое выступление уровню моих знаний и опыту?

При подготовке к выступлению необходимо выбрать способ выступления: устное изложение с опорой на конспект (опорой могут также служить заранее подготовленные слайды) или чтение подготовленного текста. Отметим, однако, что чтение заранее написанного текста значительно уменьшает влияние выступления на аудиторию. В то же время запоминание написанного текста заметно сковывает выступающего и привязывает к заранее составленному плану, не давая возможности откликаться на реакцию аудитории.

Общеизвестно, что бесстрастная и вялая речь не вызывает отклика у слушателей, какой бы интересной и важной темы она ни касалась. И наоборот, иной раз даже не совсем складное выступление может затронуть аудиторию, если оратор говорит об актуальной проблеме, если аудитория чувствует компетентность выступающего. Яркая, энергичная речь, отражающая увлеченность оратора, его уверенность, обладает значительной внушающей силой.

Кроме того, установлено, что короткие фразы легче воспринимаются на слух, чем длинные. Лишь половина взрослых людей в состоянии понять фразу, содержащую более тринадцати слов. А третья часть всех людей, слушая четырнадцатое и последующие слова одного предложения, вообще забывают его начало. Необходимо избегать сложных предложений, причастных и деепричастных оборотов. Излагая сложный вопрос, нужно постараться передать информацию по частям.

Пауза в устной речи выполняет ту же роль, что знаки препинания в письменной. После сложных выводов или длинных предложений необходимо сделать паузу, чтобы слушатели могли вдуматься в сказанное или правильно понять сделанные выводы. Если выступающий хочет, чтобы его понимали, то не следует говорить без паузы дольше, чем пять с половиной секунд.

Особое место в выступлении занимает обращение к аудитории. Известно, что обращение к собеседнику по имени создает более доверительный контекст беседы. Выступающий показывает, что слушатели интересны ему, а это самый простой путь достижения взаимопонимания.

Во время выступления важно постоянно контролировать реакцию слушателей. Внимательность и наблюдательность в сочетании с опытом позволяют оратору уловить настроение публики. Возможно, рассмотрение некоторых вопросов придется сократить или вовсе отказаться от них. После выступления нужно быть готовым к ответам на возникшие у аудитории вопросы.

### ***Методические рекомендации по составлению глоссария (словаря)***

В качестве еще одного вида самостоятельной работы можно выделить ве-

дение глоссария по дисциплине или словаря<sup>7</sup>.

**Глоссарий** – словарь, раскрывающий смысл используемых терминов (дескрипторов). Дескриптор – это «лексическая единица (слово, словосочетание) информационно поискового языка, выражающее основное смысловое содержание какого-либо текста<sup>8</sup>. Это может быть базовое понятие, умение, навык, порция учебного материала. Здесь необходимо отметить следующее. Глоссарий можно составлять по заранее заданным преподавателем терминам и понятиям. Тогда ведение словаря можно рассматривать как более свободное учебное задание, когда раскрываются, например, иные значения тех или иных терминов.

Словарь (как и глоссарий) может иметь предметный, именной или смешанный характер.

Предметный словарь составляется студентом по какой-либо выбранной самостоятельно или указанной преподавателем теме учебного курса.

Именной словарь (или словарь персоналий) должен включать сведения об ученых, принадлежащих к тому или иному направлению в дисциплине, занимавшихся или занимающихся той или иной проблемой, внесших значительный вклад в возникновение и развитие изучаемой дисциплины.

Словарь смешанного типа может представлять собой именной указатель исследователей, занимавшихся проблемой, и одновременно содержать список терминов, понятий и т.д., введенных ими в дисциплину.

Критериями для оценивания составленного студентами словаря являются:

- соответствие терминов заданной направленности,
- полнота словаря
- наличие альтернативных толкований того или иного термина,
- использование новейших нетрадиционных подходов для толкования понятий.

### ***Методические рекомендации по работе с монографиями***

Еще одним из видов самостоятельной работы обучающихся является изучение монографий<sup>9</sup>.

Данный вид работы имеет своей целью познакомить обучающихся с основополагающими для данного курса первоисточниками в целом, а не фрагмен-

---

<sup>7</sup> Воеводин, Л.Д. Самостоятельная работа студентов над источниками – эффективное средство самообразования / Л.Д. Воеводин // Вестник Московского ун-та. Серия II: Право. – 2016. – № 4. – С. 49–62; Зубашенко, Е.М. Виды самостоятельной работы по формированию понятийного аппарата будущего учителя / Е.М. Зубашенко // Самостоятельная работа в процессе подготовки учителя географии. – Новосибирск, 2012. – С. 110–128; Каминская, С.С. Исследование эффективности самостоятельной работы студентов / С.С. Каминская // Вопросы обучения и воспитания в вузе. – Томск, 2012. – С. 70–97.

<sup>8</sup> Большой энциклопедический словарь [Электронный ресурс] // Академик. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/116934>.

<sup>9</sup> Воеводин, Л.Д. Самостоятельная работа студентов над источниками – эффективное средство самообразования / Л.Д. Воеводин // Вестник Московского ун-та. Серия II: Право. – 2016. – № 4. – С. 49–62; Высоцкая, Н.М. Реферативная работа студентов как средство формирования культуры чтения / Н.М. Иысоцкая // Проблемы формирования культуры чтения. – Тамбов, 2014. – С. 137–138; Корнейчук, В.И. Активизация самостоятельной работы студентов методом распределенной экзаменационной сессии / В.И. Корнейчук, С.И. Куравлев, А.Х. Взикийн // Проблемы высшей школы. – 2010. – Вып. 70. – С. 21–27.

тарно, как при подготовке к семинарским занятиям. Эта особенность изучения монографий объясняет, почему: в качестве изучаемых источников не могут быть использованы учебники, учебные пособия, рецензии на данную работу и т.п.

Работа с монографией – важнейший метод обучения, включающий такие приемы самостоятельной работы с печатными источниками, как:

1) *конспектирование* – краткое изложение, краткая запись прочитанного текста (см. выше);

2) *составление плана* текста – разделение прочитанного текста на более или менее самостоятельные по смыслу фрагменты и их озаглавливание;

3) *тезисирование* – краткое изложение основных мыслей, тезисов прочитанного текста;

4) *цитирование* – дословная выдержка из текста с обязательным указанием выходных данных цитируемого издания (сведений об авторе, названия работы, места издания, издательства, года издания);

5) *аннотирование* – краткая характеристика содержания произведения, перечисление вопросов, рассматриваемых автором или авторами той или иной работы, без потери существенного смысла;

6) *рецензирование* – написание краткого отзыва с выражением своего отношения к прочитанному тексту;

7) *составление формально-логической модели* – словесно-схематическое изображение прочитанного;

8) *составление тематического тезауруса* (глоссария, словаря) – упорядоченного комплекса базовых понятий по определенному разделу или теме (см. выше).

### ***Методические рекомендации по составлению схем, таблиц***

Составление схем, таблиц является отдельным видом самостоятельной работы обучающихся<sup>10</sup>.

Основные требования, предъявляемые к схемам, – это их понятность и информативность. При одном взгляде на схему в памяти должен всплывать достаточно большой объем информации. При составлении схем для личного пользования можно использовать любые символы, если же схема предназначена для публичной демонстрации, ее можно сопроводить легендой – системой условных обозначений либо комментировать во время выступления. Хорошо, если схемы для освоения различных тем в рамках одной дисциплины будут представлять собой систему, выраженную в повторяющихся знаках, символизирующих одни и те же понятия.

Учебные таблицы – это наглядные пособия, содержащие цифры, тексты или графические изображения, иллюстрирующие темы и разделы учебных предметов. Различают иллюстративные, графические, цифровые, текстовые и смешанные таблицы. Будучи аналитическими или справочными, таблицы по-

---

<sup>10</sup> Салунди, М.Э. Управление самостоятельной работой студента : коэффициент баланса аудиторной и самостоятельной работ / М.Э. Салунди // Проблемы высшей школы. – 2009. – № 10. – С. 95–107.

дают информацию систематизировано, обобщают ее. В процессе самостоятельной работы при составлении таблиц обучающийся сам выбирает, по какому принципу группировать материал, чтобы отразить его в таблице, либо получает конкретное задание от преподавателя. Этим определяется материал, который будет включен в таблицу, а также количество строк и столбцов в таблице.

Как правило, таблица имеет тематический заголовок, который должен отражать основную мысль, характеризующую собранный в ней материал, а также цели ее составления.

### ***Методические рекомендации по созданию презентаций***

Презентация является одним из основных средств наглядности в учебном процессе. Она делает материал более доступным для усвоения, увлекательным, структурированным и систематизированным. Кроме того, презентация является непременной частью защиты выпускной квалификационной работы, диплома, магистерской диссертации, а также часто сопровождает выступления с научными докладами.

В широком смысле слова презентацией можно назвать любую форму представления нового материала: дегустацию, выставку-продажу, мероприятие по поводу открытия нового магазина и т.д. В узком смысле слова презентация – это сочетание текста, компьютерной анимации, графики, видео, музыки и звукового ряда, которые организованы в единую среду<sup>11</sup>.

Существуют базовые правила создания презентации:

1. Оптимальный объем презентации – 10–12 слайдов.
2. Текст презентации должен соответствовать нормам современного русского литературного языка.
3. Презентация не должна быть перегружена деталями.
4. Текст слайдов презентации не должен повторяться устно.
5. В презентации не следует злоупотреблять развернутыми определениями.
6. Презентация должна отражать в первую очередь собственные находки автора.
7. Слайды презентации должны быть выдержаны в единой стилистике, при этом не рекомендуется использовать более трех начертаний одного шрифта или более двух различных шрифтов.
8. Официальная или научная презентация не должна содержать стилистически чуждых элементов.
9. На первом слайде презентации обязательно указывать тему выступления, желательно указать и имя автора.
10. Последний слайд презентации всегда должен представлять собой логическую точку выступления.

Это типовые правила создания презентации в научной или официально-деловой сфере, однако в других ситуациях некоторые из этих правил могут на-

---

<sup>11</sup> Презентация [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Презентация\\_\(способ\\_представления\\_информации\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Презентация_(способ_представления_информации)).

рушаться (например, объем презентации, наличие иноязычных элементов, использование шрифтов и т.д.), что обусловлено темой презентации, ситуацией, в которой она реализуется, и задачей, стоящей перед выступающим.

## **ТЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Занятие № 1. Русский язык в XXI веке: новые явления и перспективы развития. Качества хорошей речи. Специфика устной и письменной коммуникации**

#### ***Вопросы***

- 1 Охарактеризуйте современное состояние русского языка.
- 2 Каковы перспективы развития русского языка?
- 3 Назовите качества хорошей речи.
- 4 Назовите специфические черты устной коммуникации.
- 5 Перечислите специфические черты письменной коммуникации.
- 6 Каковы основные коммуникативные качества речи?
- 7 Охарактеризуйте понятие «смысловая точность речи».
- 8 Из чего складывается окраска слова?
- 9 Дискуссия на тему «Нужно ли инженерам изучать деловые коммуникации?».

### **Занятие № 2. Роль языковой нормы в становлении и функционировании литературного языка, ее историческая и социальная обусловленность. Совершенствование орфоэпических, акцентологических, орфографических, пунктуационных и других видов норм**

#### **Часть 1**

#### ***Вопросы***

- 1 Что называется языковой нормой?
- 2 Какие виды норм выделяются в русском языке?
- 3 Какие признаки характеризуют нормы современного русского литературного языка?
- 4 Перечислите основные принципы русской орфографии.
- 5 Орфографический практикум ( правописание приставок пре- и при-, правописание приставок на -з и -с, правописание в суффиксах различных частей речи -н- и -нн-).

#### **Часть 2**

#### ***Вопросы***

- 1 Дайте характеристику лексических норм.
- 2 Что такое омонимы?
- 3 Какие виды омонимов вам известны?
- 4 Что такое полисемия? Чем омонимы отличаются от многозначных слов?

5 Каковы функции омонимов и многозначных слов в речи?

6 Как омонимы и многозначные слова реализуются в юридических текстах?

6 Приведите примеры текста, в котором используются омонимы или многозначные слова.

7 Какие стилистические фигуры основываются на многозначности слова?

8 Сделайте стилистическую правку предложений, в которых использование омонимов или полисемов привело к ошибкам.

### **Часть 3**

#### ***Вопросы***

1 Что такое паронимы?

2 Охарактеризуйте такое языковое явление, как паронимазия.

3 Каковы стилистические функции паронимов и созвучных неродственных слов?

4 Что такое паронимическая аттракция? В какой области рекламной деятельности она продуктивно используется?

5 В заданных предложениях найдите примеры смешения паронимов. Исправьте предложения.

6 Что такое окказионализм?

7 Приведите пример текста с использованием окказионализмов.

### **Занятие № 3. Становление риторики как науки. Формирование навыка критического восприятия информации.**

#### **Часть 1**

#### ***Вопросы***

1 Приведите синонимы к термину «риторика».

2 Кто считается основоположником риторики?

3 Назовите известных отечественных ораторов.

4 Дайте определение понятию «риторический идеал». Охарактеризуйте русский риторический идеал.

5 Перечислите основные этапы подготовки публичного выступления. Дайте им краткую характеристику.

6 Перечислите и охарактеризуйте основные способы изложения материала при произнесении публичной речи.

#### **Часть 2**

#### ***Вопросы***

1 Ознакомьтесь со схемой анализа выступления студентов, предложенной в учебном пособии по дисциплине [1; 7].

2 Подготовьте выступление на любую тему, которая Вам интересна, и выступите с ней в аудитории.

3 Проанализируйте доклады своих товарищей по предложенной схеме.

### **Часть 3**

#### ***Вопросы***

- 1 Подготовьте выступление на любую тему, которая Вам интересна, и выступите с ней в аудитории.
- 2 Проанализируйте доклады своих товарищей по предложенной схеме.

### **Занятие №4. Причины коммуникативных неудач.**

#### ***Вопросы***

- 1 Дайте определение понятию «речевое общение».
- 2 Перечислите и охарактеризуйте основные единицы речевого общения.
- 3 Начертите и объясните схему речевого взаимодействия, предложенную профессором, доктором филологических наук Л.А. Введенской.
- 4 Дайте определение понятию «коммуникативный климат». Какую роль он играет в общении людей?
- 5 Какую роль в общении играет умение слушать? Свой ответ обоснуйте.
- 6 Охарактеризуйте основные виды слушания.
- 7 Упражнение «Испорченный телефон» как наглядный пример характеризующий различные виды слушания.

### **Занятие № 5. Межстилевое взаимодействие и его результат.**

#### ***Вопросы***

- 1 Назовите отличительные языковые и конструктивные особенности разговорного стиля.
- 2 Охарактеризуйте основные группы слов, используемые в разговорном стиле.
- 3 Дайте характеристику основных языковых особенностей публицистического стиля.
- 4 Приведите примеры использования разговорной лексики в СМИ и художественной литературе (по 3 примера). Для чего писатели и журналисты используют слова разговорного стиля в своих текстах?

### **Занятие №6. Научные базы данных, справочные академические ресурсы в сети Интернет (достоверные и недостоверные источники информации в сети Интернет). Составление конспектов, рефератов, подготовка докладов.**

#### ***Вопросы***

- 1 Чем отличается выпускная квалификационная работа от курсовой?
- 2 Охарактеризуйте структуру курсовой и выпускной квалификационной

работы.

3 Перечислите правила составления библиографического списка научной работы.

4 Составьте библиографический список учебной литературы по любой из изучаемых Вами дисциплин.

5 Охарактеризуйте основные виды аннотаций.

6 Подготовьте развернутые аннотации по 3 научным статьям.

7 Назовите критерии, позволяющие отнести к достоверным источникам информации материал из сети Интернет.

8 Назовите критерии, позволяющие отнести к недостоверным источникам информации материал из сети Интернет.

### **Занятие № 7. Стандартизация и унификация языка служебных документов. Работа с документацией различного рода.**

#### ***Вопросы***

1 Назовите конструктивные и языковые особенности официально-делового стиля.

2 Приведите примеры языковых формул, используемых при подготовке документов.

3 В чем особенность унификации и стандартизации документов?

4 Дайте характеристику основных классификаций документов.

5 Расскажите о правилах сокращения слов в официально-деловом стиле.

6 Охарактеризуйте основные композиционные элементы автобиографии.

7 Напишите и представьте на проверку преподавателю автобиографию.

8 Перечислите основные реквизиты служебной записки.

9 Приведите пример служебной записки.

10 Напишите и представьте на проверку преподавателю пример доверенности на получение почтовой бандероли.

11 Перечислите реквизиты расписки и делового письма. Каковы типичные ошибки при составлении деловых бумаг?

12 Напишите и представьте на проверку преподавателю пример расписки на получении оборудования и делового письма с запросом необходимых документов.

13 Напишите пример резюме на должность инженера путей сообщения.

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ**

Контрольные работы по дисциплине «Русский язык и деловым коммуникациям» предусмотрены учебным планом для обучающихся по заочной форме. При условии имеющихся тестов они не являются основной формой итоговой отчетности за семестр, однако, по желанию преподавателя, могут применяться как одна из форм контроля усвоения обучающимися дисциплины. Кроме того, отдельные задания из контрольных работ могут использоваться при изучении соответствующих тем на практических занятиях.



Каждый вариант контрольной работы состоит из 7 заданий. Работа выполняется на листах формата А4, все поля по 2 см, шрифтом Times New Roman Cyr, кегль 14, межстрочный интервал 1,0, абзацный отступ 1,25 см.

На первой странице контрольной работы оформляется титульный лист.

Контрольная работа должна быть выполнена обучающимся самостоятельно.

При выполнении работы обучающийся должен скопировать каждое задание, а ниже дать ответ на него. Копировать сразу все задания не следует.

Преподаватель оставляет за собой право задать дополнительные или уточняющие вопросы по заданиям, выполненным не в полном объеме или с ошибками, потребовать объяснить позицию автора контрольной работы, если она вызывает сомнения.

В конце работы необходимо представить список использованной литературы, включая электронные ресурсы.

Преподаватель имеет право проверить ответы на теоретические вопросы в системе «Антиплагиат» и вернуть контрольную на доработку, независимо от времени, оставшегося до зачета, если ответы на теоретические вопросы окажутся бездумно скопированными из Интернета кусками текста! Старайтесь давать академические определения понятий, но комментируйте их своими словами.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ И КУЛЬТУРЕ РЕЧИ (10 вариантов)**

### **Вариант № 1**

Задание 1. Дайте определение понятию *современный литературный язык*. В вашем ответе должно быть 100 – 120 слов.

Задание 2. Что означает понятие *функциональный стиль* современного русского литературного языка? Назовите функциональные стили. Дайте их краткую характеристику по схеме: в какой сфере общения используется, по преимуществу в письменной или в устной форме, имеются ли у него разновидности, каковы лексические, морфологические, словообразовательные и синтаксические особенности. В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 3. Охарактеризуйте *научный стиль* русского литературного языка; расскажите о специфике использования элементов различных языковых уровней в научной речи. Примеры, иллюстрирующие теоретические положения, возьмите из любого текста Приложения (номер текста обязательно укажите). В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 4. Из списка жанров канцелярско-делового подстиля (*акт, анкета, ведомость, выписка, деловое письмо, доверенность, договор, докладная записка, заявление, извещение, контракт, опись, отчёт, представление, приказ,*

*протокол, расписание, распоряжение, резолюция, справка, счёт*) выберите соответствующие нижеприведённым определениям:

... – договор об установлении, изменении или прекращении правоотношений.

... - документ, адресованный руководству, в котором излагается какой-либо вопрос с выводами и предложениями составителя.

... - документ, в котором указана причитающаяся за что-либо денежная сумма.

... - документ, содержащий последовательную запись хода обсуждения вопросов и принятия решений на собраниях, совещаниях, конференциях и заседаниях коллегиальных органов.

... - документ, содержащий сведения о подготовке, проведении и итогах выполнения планов, заданий, командировок и других мероприятий, представляемых вышестоящему учреждению или должностному лицу.

... - копия части текстового документа.

... - документ, дающий полномочия его предъявителю на выполнение каких-либо действий от имени доверителя.

... - документ, информирующий о предстоящем мероприятии (заседании, собрании конференции) и предлагающий принять в нём участие.

... - документ, представляющий собой трафаретный текст, содержащий вопросы по определённой теме и место для ответов (или ответы) на них.

Задание 5. Прочитайте фрагменты из статьи «Язык, стиль, норма», помещённый в Приложениях (текст № 1). В ней В. В. Колесов обсуждает условия, в которых развивается наша современная речь, в частности влияние средств массовой информации. Письменно ответьте на вопросы: 1) как влияет стиль, которым передана информация, на наше восприятие этой информации? 2) почему СМИ оказывают особенно сильное воздействие на речь людей? В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 6. Перепишите словосочетания. Какое из приведённых словосочетаний вам представляется более правильным? Подчеркните его. Если вы оба варианта считаете правильными, подчеркните тот и другой.

- |                             |     |                         |
|-----------------------------|-----|-------------------------|
| 1) купил чаю                | или | купить чая              |
| 2) широкий просек           | или | широкая просека         |
| 3) там было много народа    | или | там было много народу   |
| 4) пачка табаку             | или | пачка табака            |
| 5) синий платье-костюм      | или | синее платье костюм     |
| 6) мощные прожекторы        | или | мощные прожектора       |
| 7) правила корректоры       | или | исправили корректора    |
| 8) опытные слесаря          | или | опытные слесари         |
| 9) двести грамм кофе        | или | двести граммов кофе     |
| 10) через час он обессилит  | или | через час он обессилеет |
| 11) много апельсинов        | или | много апельсин          |
| 12) врач пришёл (о женщине) | или | врач пришла             |

13) он живёт в Пушкино

или

он живёт в Пушкине

Задание 7. Перепишите слова, поставьте в них ударения. Где возможны варианты ударения, поставьте оба ударения.

Алкоголь, он позвонит, газированный, приговор, бензопровод, цепочка, языковая (колбаса), договор, добыча, давнишний, квартал, дозвониться, забронировать (закрепить), цепочка, завидно, закупорить, приобретение, средства, избаловать, одновременный, каучук, таможня, валовой, украинец, красивее, кухонный, договор, жалюзи, осведомиться, индустрия, хозяйева, сливовый, премировать, столяр, свёкла, феномен, обеспечение.

Задание 8. Перепишите. Вычеркните словосочетания с лексической несочетаемостью.

1) Допустить ошибку, допустить грубость, допустить недоделки, допустить неосведомленность, допустить дефекты, допустить низкое качество изделий. 2) Оказать содействие, оказать доверие, оказать дружбу, оказать воздействие, оказать грубость, оказать невнимание, оказать заносчивость, оказать возражение. 3) Проявить заботу, проявить желание, проявить дисциплину, проявить энергичность, проявить медлительность, проявить уважение, проявить грубость, проявить порядок, проявить равнодушие. 4) Провести совещание, провести перестройку, провести контроль, провести организацию, провести реорганизацию, провести завершение, провести помощь, провести оценку. 5) Достичь успеха, достичь намеченных рубежей, достичь выполнения, достичь повышения, достичь порядка, достичь послушания, достичь победы. 6) Изжить пороки, изжить потери, изжить прогульщиков, изжить брак, изжить грязь в помещении, изжить бесхозяйственность, изжить низкое качество изделий.

Задание 9. Напишите доверенность на получение почтового перевода.

## Вариант № 2

Задание 1. Дайте определение понятию *языковая норма*. Расскажите о различных языковых нормах. В вашем ответе должно быть 100 – 120 слов.

Задание 2. Что означает понятие *функциональный стиль* современного русского литературного языка? Назовите функциональные стили. Дайте их краткую характеристику по схеме: в какой сфере общения используется, по преимуществу в письменной или в устной форме, имеются ли у него разновидности, каковы лексические, морфологические, словообразовательные и синтаксические особенности. В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 3. Охарактеризуйте *официально-деловой стиль* русского литературного языка; расскажите о специфике использования элементов различных языковых уровней в официально-деловом стиле речи. Примеры, иллюстриру-

ющие теоретические положения, возьмите из любого текста Приложения (номер текста обязательно укажите). В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 4. Из списка жанров канцелярско-делового подстиля (*акт, анкета, ведомость, выписка, деловое письмо, доверенность, договор, докладная записка, заявление, извещение, контракт, опись, отчёт, представление, приказ, протокол, расписание, распоряжение, резолюция, справка, счёт*) выберите соответствующие нижеприведённым определениям:

... - документ, применяемый для связи, передачи информации на расстоянии между двумя корреспондентами, которыми могут быть и юридические и физические лица.

... - документ, содержащий описание и подтверждение тех или иных фактов и событий.

... - документ, содержащий последовательную запись хода обсуждения вопросов и принятия решений на собраниях, совещаниях, конференциях и заседаниях коллегиальных органов.

... - юридически оформленный перечень документов.

... - документ, представляющий собой трафаретный текст, содержащий вопросы по определённой теме и место для ответов (или ответы) на них.

... - договор об установлении, изменении или прекращении правоотношений.

... - документ, содержащий предложение о назначении, перемещении личного состава, а также рекомендацию определённых действий и мероприятий по вопросам деятельности учреждения.

... - правовой акт, издаваемый единолично руководителем, главным образом коллегиального органа государственного управления, в целях разрешения оперативных вопросов.

... - копия части текстового документа.

... - документ, содержащий просьбу или предложение лица (лиц) учреждения или должностному лицу, например, о приёме на работу, о предоставлении отпуска и т. д.

Задание 5. Прочитайте фрагменты из статьи «Язык, стиль, норма», помещённый в Приложениях (текст № 1). В ней В. В. Колесов обсуждает условия, в которых развивается наша современная речь, в частности влияние средств массовой информации. Письменно ответьте на вопросы: 1) как влияет коммерческий интерес на состояние русского языка в СМИ? 2) какое этическое значение имеет вытеснение некоторых русских слов заимствованными?

Задание 6. Перепишите словосочетания. Какое из приведённых словосочетаний вам представляется более правильным? Подчеркните его. Если вы оба варианта считаете правильными, подчеркните тот и другой.

- |                           |     |                        |
|---------------------------|-----|------------------------|
| 1) на поля вышли тракторы | или | на поля вышли трактора |
| 2) цвет чая               | или | цвет чаю               |

|     |                          |     |                          |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| 3)  | принял таблетку аспирина | или | принял таблетку аспирина |
| 4)  | красивый георгин<br>на   |     | или красивая георгина    |
| 5)  | более двести рублей      | или | более двухсот рублей     |
| 6)  | новый роман-газета       | или | новая роман-газета       |
| 7)  | в порту стояли крейсера  | или | в порту стояли крейсера  |
| 8)  | купил сахару             | или | купил сахара             |
| 9)  | нашёл монету в снеге     | или | нашёл монету в снегу     |
| 10) | ГЭС дала электроэнергию  | или | ГЭС дал электроэнергию   |
| 11) | в депо собрались слесари | или | в депо собрались слесаря |
| 12) | она хороший бухгалтер    | или | она хорошая бухгалтер    |
| 13) | поезд подошёл к Иваново  | или | поезд подошёл к Иванову  |

Задание 7. Перепишите слова, поставьте в них ударения. Где возможны варианты ударения, поставьте оба ударения.

Задолго, укупорить, умерший, искра, ходатайствовать, закупорить, августовский, ходатайство, хозяйева, форзац, газированный, шасси, ходатайство, формировать, обеспечение, щавель, цепочка, компрометировать, эксперт, приобретение, экспорт, искра, жалюзи, оптовый, группировать, исчерпать, эскорт, мельком, языковая (система), путепровод, квартал, мы позвоним, мастерски, диспансер, пахота, задолго, столяр.

Задание 8. Найдите случаи неправильного или стилистически неоправданного употребления заимствованных слов; замените иноязычные слова, имеющие окраску книжности, общеупотребительными словами; исправьте предложения.

1) Нечёткое поступление комплектующих узлов с баз «Транстехники» лимитирует работу в вагоноремонтных мастерских. 2) Нельзя к работе строителей подходить абстрактно, нивелировать оплату бригадам, работающим нередко в несопоставимых условиях. 3) Принятое решение следует квалифицировать по крайней мере как несвоевременное. 4) В комбинате бытового обслуживания вам быстро отремонтируют одежду, выведут пятно. 5) Дефекты в подготовке кадров лекторов и агитаторов вскроются немедленно, как только они встретятся с избирателями. 6) В докладе были констатированы факты прямых нарушений регламенты работы смесовых машин. 7) Участники производственных совещаний должны быть вовремя информированы о повестке дня и времени начала работы. 8) Для обоснования и корректирования проекта планировки пригородной зоны потребуется масштабная карта окрестностей города. 9) Самоходное шасси – в том или ином виде – может работать весь год.

Задание 9. Напишите автобиографию.

### Вариант № 3

Задание 1. Расскажите о связи понятий *языковая норма* и *литературный язык*. В вашем ответе должно быть 100 – 120 слов.

Задание 2. Что означает понятие *функциональный стиль* современного русского литературного языка? Назовите функциональные стили. Дайте их краткую характеристику по схеме: в какой сфере общения используется, по преимуществу в письменной или в устной форме, имеются ли у него разновидности, каковы лексические, морфологические, словообразовательные и синтаксические особенности. В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 3. Расскажите о **жанровом разнообразии официально-делового стиля** речи. Примеры, иллюстрирующие теоретические положения, возьмите из любого текста Приложения (номер текста обязательно укажите). В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 4. Из списка жанров канцелярско-делового подстиля (*акт, анкета, ведомость, выписка, деловое письмо, доверенность, договор, докладная записка, заявление, извещение, контракт, опись, отчёт, представление, приказ, протокол, расписание, распоряжение, резолюция, справка, счёт*) выберите соответствующие нижеприведённым определениям:

... - документ, содержащий сведения о подготовке, проведении и итогах выполнения планов, заданий, командировок и других мероприятий, представляемых вышестоящему учреждению или должностному лицу.

... - документ, составленный несколькими лицами и подтверждающий установленные факты и события.

... - договор об установлении, изменении или прекращении правоотношений.

... - документ, содержащий просьбу или предложение лица (лиц) учреждения или должностному лицу, например, о приёме на работу, о предоставлении отпуска и т. д.

... - правовой акт, издаваемый руководителем органа государственного управления (его структурного подразделения), действующим на основе единоначалия в целях разрешения основных и оперативных задач, стоящих перед данным органом.

... - документ, содержащий последовательную запись хода обсуждения вопросов и принятия решений на собраниях, совещаниях, конференциях и заседаниях коллегиальных органов.

... - документ, фиксирующий соглашение двух или нескольких сторон.

... - правовой акт, издаваемый единолично руководителем, главным образом коллегиального органа государственного управления, в целях разрешения оперативных вопросов.

... - копия части текстового документа.

... - краткое изложение какого-либо вопроса или пояснение содержания какого-либо документа, факта, события.

Задание 5. Прочитайте фрагменты из статьи «Язык, стиль, норма», помещённый в Приложениях (текст № 1). В ней В. В. Колесов обсуждает условия, в

которых развивается наша современная речь, в частности влияние средств массовой информации. Письменно ответьте на вопросы: 1) как влияет коммерческий интерес на состояние русского языка в СМИ? 2) всякое ли заимствование должно оцениваться негативно?

Задание 6. Перепишите словосочетания. Какое из приведённых словосочетаний вам представляется более правильным? Подчеркните его. Если вы оба варианта считаете правильными, подчеркните тот и другой.

- |                               |     |                           |
|-------------------------------|-----|---------------------------|
| 1) в клуб направлены лекторы  | или | в клуб направлены лектора |
| 2) несколько пар носок        | или | несколько пар носков      |
| 3) пять килограммов яблок     | или | пять килограмм яблок      |
| 4) был в отпуску              | или | был в отпуске             |
| 5) выпил стакан чая           | или | выпил стакан чаю          |
| 6) слишком много блеска       | или | слишком много блеску      |
| 7) находился в цехе           | или | находился в цеху          |
| 8) хороший алебастр           | или | хорошая алебастра         |
| 9) из полутора метров материи | или | из полтора метра материи  |
| 10) в продаже нет кед         | или | в продаже нет кедров      |
| 11) мощная ракета-носитель    | или | мощный ракета-носитель    |
| 12) воздушный парад в Тушине  | или | воздушный парад в Тушино  |
| 13) Иванова – хороший врач    | или | Иванова – хорошая врач    |

Задание 7. Перепишите слова, поставьте в них ударения. Где возможны варианты ударения, поставьте оба ударения.

Осмысление, факсимиле, предложить, цепочка, констатировать, костюмированный, экзальтированный, договор, приговор, принудить, псевдоним, христианин, цемент, радушный, рассредоточение, иначе, сосредоточение, статуя, прирост, облегчит, намерение, обеспечение, средства, уведомить, газированный углубить, ты перезвонишь, цыган, водопровод, опломбированный, грушевый, кухонный, эксперт, зубчатый, шофер, ходатайство, алкоголь, квартал.

Задание 8. Найдите ошибки, связанные с лексической несочетаемостью и лексическими подменами; перепишите, исправляя ошибки.

1) Нужно сказать, что тех недостатках, которых мы достигли на протяжении этого года, виновата не только служба снабжения. 2) Выдающиеся успехи, одержанные российскими железнодорожниками, произвели на всех неизгладимое впечатление. 3) Бригада Каменева на протяжении всего ремонтного периода проявила самую высокую дисциплину, порядок, готовность трудиться, не считаясь со временем. 4) Контроль за качеством изделий проводится не только специально отобранными контролёрами, но и многими работниками, получившими личное клеймо. 5) Органы соцстраха проявляют повседневную заботу и помощь многим пенсионерам. 6) Это позволяет достигать главного – содержания оборудования в отличном состоянии. 7) Специалисты ОТК регулярно проводят рейды

качества, ведут наглядную агитацию в борьбе с браком. 8) На предприятии давно изжиты факты бесхозяйственности, бюрократизма, канцелярщины.

Задание 9. Напишите резюме.

#### Вариант № 4

Задание 1. Расскажите об *устной и письменной* разновидности литературного языка, их связи и различиях. В вашем ответе должно быть 100 – 120 слов.

Задание 2. Что означает понятие *функциональный стиль* современного русского литературного языка? Назовите функциональные стили. Дайте их краткую характеристику по схеме: в какой сфере общения используется, по преимуществу в письменной или в устной форме, имеются ли у него разновидности, каковы лексические, морфологические, словообразовательные и синтаксические особенности. В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 3. Расскажите о **языковых формулах служебных документов**, приемах **унификации языка в служебных документах**. Примеры, иллюстрирующие теоретические положения, возьмите из любого текста Приложения (номер текста обязательно укажите). В вашем ответе должно быть 120 – 150 слов.

Задание 4. Из списка жанров канцелярско-делового подстиля (*акт, анкета, ведомость, выписка, деловое письмо, доверенность, договор, докладная записка, заявление, извещение, контракт, опись, отчёт, представление, приказ, протокол, расписание, распоряжение, резолюция, справка, счёт*) выберите соответствующие нижеприведённым определениям:

... - объявление о месте, времени и последовательности совершения чего-либо.

... - перечень каких-либо данных, расположенных в определённом порядке.

... - правовой акт, издаваемый руководителем органа государственного управления (его структурного подразделения), действующим на основе единоначалия в целях разрешения основных и оперативных задач, стоящих перед данным органом.

... - копия части текстового документа.

... - документ, содержащий просьбу или предложение лица (лиц) учреждения или должностному лицу, например, о приёме на работу, о предоставлении отпуска и т. д.

... - договор об установлении, изменении или прекращении правоотношений.



... - документ, применяемый для связи, передачи информации на расстоянии между двумя корреспондентами, которыми могут быть и юридические и физические лица.

... - документ, в котором указана причитающаяся за что-либо денежная сумма.

... - решение, принятое совещанием, съездом, конференцией и т. п., по обсуждаемому вопросу.

... - документ, содержащий последовательную запись хода обсуждения вопросов и принятия решений на собраниях, совещаниях, конференциях и заседаниях коллегиальных органов.

... - юридически оформленный перечень документов.

Задание 5. Прочитайте фрагменты из статьи «Язык, стиль, норма», помещённый в Приложениях (текст № 1). В ней В. В. Колесов обсуждает условия, в которых развивается наша современная речь, в частности влияние средств массовой информации. Письменно ответьте на вопросы: 1) в каком случае заимствования играют отрицательную роль в языке? 2) как вы понимаете утверждение Колесова: «Народ невозможно объединить на субстрате чужих речевых культур и стратегий...»?

Задание 6. Перепишите словосочетания. Какое из приведённых словосочетаний вам представляется более правильным? Подчеркните его. Если вы оба варианта считаете правильными, подчеркните тот и другой.

- |                                  |     |                              |
|----------------------------------|-----|------------------------------|
| 1) не хватило грабель            | или | не хватило граблей           |
| 2) килограмм сахару              | или | килограмм сахара             |
| 3) горячий кофе                  | или | горячее кофе                 |
| 4) собрались все токари          | или | собрались все токаря         |
| 5) принял таблетку анальгина     | или | принял таблетку анальгину    |
| 6) он более скрытный             | или | он более скрытнее            |
| 7) новый рельс                   | или | новая рельса                 |
| 8) с тысячью туристами           | или | с тысячей туристов           |
| 9) купи творогу                  | или | купи творога                 |
| 10) пришли директора школ        | или | пришли директора школ        |
| 11) работа в цехе                | или | работа в цеху                |
| 12) известный доцент (о женщине) | или | известная доцент (о женщине) |
| 13) телецентр в Останкине        | или | телецентр в Останкино        |

Задание 7. Перепишите слова, поставьте в них ударения. Где возможны варианты ударения, поставьте оба ударения.

Черпать, алфавит, ненависть, нефтепровод, обеспечение, облегчение, инструмент, упрочение, каталог, каучук, обеспечение, квартал, договор, кладовая, красивее, кухонный, магазин, намерение, начать, некролог, газированный, фор-

мировать, черпать, цепочка, нормирование, осужденный, отчасти, нормированный, крапива, средства, облегчить, опломбированный, забронировать (покрыть бронёй), нефтепровод, квартал, жалюзи.

Задание 8. Исправьте предложения, устраняя грамматические и лексические ошибки. Перепишите в исправленном виде.

1) Резко повысив скорость резания, рабочими участка была достигнута наивысшая выработка по заводу. 2) Принимая заказы от населения, работникам мастерской должно быть ясно, что они должны быть выполнены в срок. 3) С целью увеличения грузооборота и полностью поддерживая требования руководства, работники Северо-Кавказской железной дороги обязуются повысить показатели на 10 %. 5) Наличие в лодке запрещённых снастей будет подвергнуто штрафу. 6) К сожалению, ваша просьба не может удовлетвориться. 7) В письмах, получающихся редакцией газеты, есть много дельных предложений. 8) К работе не допускаются ученики, не сдавшие зачёта по технике безопасности, а также которые не прошли стажировки. 9) Суть преступления ясна всем; осталось резюмировать приговор.

Задание 9. Напишите заявление с просьбой предоставить материальную помощь и объяснительную записку в связи с опозданием на работу.

## ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

### **Вопросы для оценки результата освоения «Знать»:**

1. Понятие «современный русский литературный язык».
2. Понятие языковой нормы и ее реализация в системе уровней современного русского литературного языка.
3. Язык как знаковая система.
4. Речевое взаимодействие. Основные единицы общения.
5. Аспекты речи: нормативный, коммуникативный, этический.
6. Речь и количество участников общения. Диалог, монолог и полилог.
7. Функционально-смысловые типы речи и их особенности.
8. Функционально-стилистическая дифференциация СРЛЯ. Взаимодействие функциональных стилей.
9. Силевые (языковые) особенности научного стиля. Жанровые особенности научного стиля.
10. Официально-деловой стиль: сфера функционирования, языковые и жанровые особенности.
11. Формы существования русского языка.
12. Художественный стиль речи и его особенности.
13. Язык и речь. Понятие «культура речи».
14. Устная и письменная разновидности литературного языка и их реализация в различных функциональных стилях речи.
15. Приемы стандартизации и унификации языка служебных документов.

16. Типичные лексические ошибки (тавтология, плеоназм, смешение паронимов, речевая недостаточность, нарушение лексической сочетаемости и др.) и их влияние на качество коммуникации.

17. Языковые, функциональные и жанровые особенности публицистического стиля речи.

18. Языковые, функциональные и жанровые особенности разговорного стиля речи.

19. Условия успешного общения.

20. Становление и развитие русского языка.

21. Русский язык конца XX – начала XXI века: новые явления в нем и перспективы его развития.

22. Современные коммуникативные технологии в академической деятельности: правила создания презентаций.

23. Современные коммуникативные технологии в академической деятельности: вебинары и онлайн-конференции.

24. Правила делового этикета в письменной и устной профессиональной коммуникации.

25. Особенности международной деловой коммуникации.

#### **Вопросы для оценки результата освоения «Уметь»:**

1. Охарактеризовать понятие "речевой этикет" и реализацию норм речевого этикета в официально-деловом стиле речи.

2. Охарактеризовать понятие "культура речи".

3. Охарактеризовать язык и стиль документов.

4. Охарактеризовать композицию речи, методы изложения материала, приемы ведения речи.

5. Охарактеризовать понятие "документ" (определение, функции, свойства) и правила оформления документов, реквизиты, языковые формулы и стиль изложения материала.

6. Охарактеризовать процесс подготовки речи: определение темы и цели речи. Составление плана, поиск и подбор материала, работа с литературой, написание текста выступления, конспекта, тезисов.

7. Охарактеризовать понятия "ясность и понимание речи", "логичность"; психолого-риторические средства; общеупотребительная и необщеупотребительная лексика, иноязычная лексика.

8. Охарактеризовать оратора как участника публичной коммуникации.

9. Охарактеризовать выразительность речи, выразительно-образительные средства языка: тропы и фигуры речи.

10. Охарактеризовать публицистический стиль в устной публичной речи: ораторскую речь и риторику, разновидности публичных выступлений в зависимости от цели.

11. Охарактеризовать убедительность речи, виды аргументов, аргументы логические и психологические.

12. Охарактеризовать качества хорошей речи.

13. Охарактеризовать художественный стиль речи, его функциональные и жанровые особенности.

14. Охарактеризовать публицистический стиль: жанровую дифференциацию и отбор языковых средств в публицистическом стиле.

15. Охарактеризовать разговорную речь как особую функциональную разновидность русского литературного языка: роль внеязыковых факторов. Дать общую характеристику разговорного стиля.

16. Охарактеризовать интернациональные свойства русской официально-деловой письменной речи.

17. Охарактеризовать позитивный коммуникационный климат.

18. Охарактеризовать дискуссию как особую разновидность публичного выступления.

19. Охарактеризовать презентацию как форму представления материала в академической деятельности.

20. Охарактеризовать презентацию как форму представления материала в профессиональной деятельности.

21. Охарактеризовать вебинары и онлайн-конференции как формы интерактивного взаимодействия между участниками коммуникации.

22. Охарактеризовать специфику международной профессиональной коммуникации.

23. Охарактеризовать аудиторию как участника публичной коммуникации.

24. Охарактеризовать методы определения достоверных и недостоверных источников информации в сети Интернет.

25. Охарактеризовать невербальные средства общения и их роль в процессе коммуникации.

### **Вопросы для оценки результата освоения «Владеть»:**

1. Составить доверенность.

2. Составить заявления о приеме на работу.

3. Составить заявления об увольнении с работы.

4. Составить заявление о предоставлении очередного ежегодного отпуска.

5. Составить резюме.

6. Составить объяснительную записку по фактам нарушений.

7. Написать письмо другу, используя 3 фразеологизма, 3 жаргонизма, 3 эмоционально-окрашенных слова.

8. Составить служебную записку.

9. Составить расписку на получение книг в библиотеке.

10. Составить автобиографию.

11. Составить рецензию на прослушанный курс русского языка и культуры речи.

12. Составить тезисы выступления на тему "Открытие нового предприятия".

13. Подготовить заметку на тему "Сквернословие - враг русского языка".

14. Подготовить план выступления "Наука в современном мире".

15. Подготовить план выступления "Компьютерные технологии в современной жизни".

16. Подготовить аргументы и контраргументы к дискуссии на тему "Будущее за электронными книгами".

17. Написать диалог на свободную тему, максимально передав особенности разговорной речи.

18. Написать сочинение-миниатюру (100–150 слов) на заданную преподавателем тему.

19. Подготовить письмо-приглашение на деловое мероприятие.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Основная литература*

1 **Введенская, Л.А.** Русский язык и культура речи : учеб. пособие для вузов / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2014. – 539 с.

2 **Горовая, И.Г.** Русский язык и культура речи : учебное пособие [Электронный ресурс] / И.Г. Горовая. – Оренбург : Оренбургский университет, 2015. – 146 с. // ЭБС «КнигаФонд».

3 **Ипполитова, Н.А.** Русский язык и культура речи [Электронный ресурс] : учебник / Н.А. Ипполитова, О.Ю. Князева, М.Р. Савова. – М : Проспект, 2015. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785392167630.html>.

4 **Недоступова, Л.В.** Русский язык [Электронный ресурс]. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ (РТЖТ) ; ЭБС «IPRbooks», 2015. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>.

5 **Покотыло, М.В.** Культура речи и деловое общение: учебное пособие. - Ростов-на-Дону: РГУПС, 2016. - 196с.

6 **Полякова, О.А.** Основы стилистики : учебное пособие / О.А. Полякова. – Ростов н/Д : ФГБОУ ВО РГУПС, 2016. – 146 с.

7 Полякова, О.А. Русский язык и деловые коммуникации: учебное пособие / О.А. Полякова, М.В. Покотыло. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2019. – 148с.

### *Дополнительная литература*

1. **Введенская, Л.А.** Культура речи государственного служащего : учебно-практ. пособие / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – Ростов н/Д : Феникс, 2011. – 473 с.

2. **Введенская, Л.А.** Русский язык и культура речи : экзаменационные ответы / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – 5-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 283 с.

3. **Введенская, Л.А.** Русский язык и культура речи / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – Ростов н/Д : Феникс, 2011. – 539 с.

4. **Введенская, Л.А.** Русский язык. Культура речи. Деловое общение : учебник / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – М. : КНОРУС, 2012. – 424 с.

5. **Введенская, Л.А.** Деловая риторика : учеб. пособие / Л.А. Введенская, Л.Г. Павлова. – 6-е изд., перераб. – М. : КНОРУС, 2012. – 416 с.
6. ГОСТ 7.60-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Основные виды. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 41 с.
7. **Глазунова, О.В.** Русский язык и культура речи : учебник / О.В. Глазунова. – М. : Кнорус, 2012. – 248 с.
8. Культура устной и письменной речи делового человека: справочник. Практикум / сост. Н.С. Водина [и др]. – 17-е изд. – М. : Флинта : Наука, 2012. – 320 с.
9. **Коваadlo, Л.Я.** Культура письменной и устной речи. Деловое письмо / Л.Я. Коваadlo. – М. : ФОРУМ, 2012. – 400 с.
10. **Лобанов, И.Б.** Говорим правильно по-русски: речевой этикет / И.Б. Лобанов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2013. – 191 с.
11. **Мартынова, О.В.** Основы редактирования : учеб. пособие / О.В. Мартынова. – 5-е изд. – М. : Академия, 2009. – 144 с.
12. **Мартынова, О.В.** Основы редактирования : практикум : учеб. пособие / О.В. Мартынова. – М. : Академия, 2008. – 112 с.
13. **Матийченко, Ю.В.** Звоним русисту / Ю.В. Матийченко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2012. – 157 с.
14. **Павлова, Л.Г.** Деловые коммуникации : учебник / Л.Г. Павлова, Е.Ю. Кашаева. – М. : КНОРУС, 2016. – 300 с.
15. **Пивоварова, И.** Культура речи в таблицах и схемах / И. Пивоварова, О. Ларина. – Ростов н/Д.: Феникс, 2013. – 175 с.
16. **Покотыло, М.В.** Коммуникации в научной деятельности: учебное пособие/ М.В. Покотыло. –Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2017. –140с.
17. **Покотыло, М.В.** Основы риторики и мастерства публичного выступления: учебное пособие/ М.В. Покотыло. – Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2016. – 159с.
18. **Покотыло, М.В.** Русский язык и основы редактирования: учебное пособие/ М.В. Покотыло. –Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО РГУПС, 2013. –108с.
19. **Рахманин, Л.В.** Стилистика деловой речи и редактирование служебных документов : учеб. пособие / Л.В. Рахманин. – 5-е изд. – М. : Флинта : Наука, 2012. – 256 с.
20. **Руднев, В.Н.** Риторика. Деловое общение: учебное пособие / В.Н. Руднев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Кнорус, 2014. – 352 с.
21. **Руденко, А.М.** Культура речи и деловое общение в схемах и таблицах : учеб. пособие / А.М. Руденко. – Ростов н/Д : Феникс, 2015. – 334 с.
22. **Руденко, А.М.** Деловые коммуникации : учебник / А.М. Руденко. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 350 с.
23. **Соколов, А.В.** Социальные коммуникации : учебник для бакалавров / А.В. Соколов. – СПб. : Профессия, 2014. – 288 с.
24. **Стернин, И.А.** Деловое общение : учеб. пособие для старшеклассников и студентов / И.А. Стернин. – 3-е изд., перераб. – Воронеж : Родная речь, 2009. – 200 с.

25. **Стернин, И.А.** Основы речевого воздействия : учеб. пособие / И.А. Стернин. – Воронеж : Родная речь, 2012. – 200 с.

26. **Стернин, И.А.** Практическая риторика: учебное пособие / И.А. Стернин. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 272 с.

27. **Стернин, И.А.** Фактор адресата в речевом воздействии: учеб. пособие / И.А. Стернин. – Воронеж: Истоки, 2012. – 51 с.

28. **Стернин, И.А.** Общение с разными типами собеседников: учеб. пособие / И.А. Стернин. – Воронеж: Истоки, 2012. – 42 с.

29. **Стернин, И.А.** Анализ коммуникативных ситуаций: учеб. пособие / И.А. Стернин. – 2-е изд., испр. и доп. – Воронеж: Истоки, 2013. – 50 с.

30. **Филиппов, С.В.** Коммуникация в науке и феномен научного открытия : автореф. дис. ... канд. философ. наук / С.В. Филиппов. – М., 1999. – 20 с.

31. **Чернявская, В.Е.** Коммуникации в науке : нормативное и девиантное : лингвистический и социокультурный анализ / В.Е. Чернявская. – Москва : URSS, 2011. – 238 с.

32. **Зарецкая, Е.Н.** Деловое общение : учебник. В 2 т. / Е.Н. Зарецкая. – 3-е изд. – М. : Дело, 2008. – 704 с.

#### ***Монографии***

1 Левитин, К.Е. Научная журналистика как составная часть знаний и умений любого ученого : научное издание / К.Е. Левитин. – М : «Журнал Экология и жизнь», 2012. – 302 с.

#### ***Периодические издания***

1 Научная мысль Кавказа (журнал).

2 Социально-гуманитарные знания (журнал).

3 Труды Ростовского государственного университета путей сообщения (гуманитарные номера).

*Методическое издание*

**Покотыло** Михаил Валерьевич

## **РУССКИЙ ЯЗЫК И ДЕЛОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ**

Методические указания по освоению дисциплины обучающихся  
по техническим специальностям

Редактор М.В. Покотыло  
Техническое редактирование и корректура М.В. Покотыло

Подписано в печать ... Формат 60×84/16.  
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. ...  
Тираж ... экз. Изд. № ... Заказ ...

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

---

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, 2.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу С.А. Упоров

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

### Б1.О.08 ПСИХОЛОГИЯ КОМАНДНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И САМОРАЗВИТИЯ

Направление подготовки

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

Направленность (профиль)

**Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности**

Одобрена на заседании кафедры

Рассмотрена методической комиссией

Управления персоналом

Горно-механического факультета

(название кафедры)

(название факультета)

Зав.кафедрой

Председатель

*Ветош-*

*[Signature]*

(подпись)

(подпись)

Ветошкина Т.А.

Осипов П.А.

(Фамилия И.О.)

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 16.09.2021

Протокол № 2 от 12.10.2021

(Дата)

(Дата)

Екатеринбург

Автор: Полянок О.В., к.пс.н., доцент

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                   | 3  |
| 1 Методические рекомендации по написанию реферата                          | 5  |
| 2 Методические рекомендации по написанию эссе                              | 13 |
| 3 Методические рекомендации по написанию реферата статьи                   | 17 |
| 4 Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий    | 23 |
| 5 Методические рекомендации по составлению тестовых заданий                | 27 |
| 6 Требования к написанию и оформлению доклада                              | 29 |
| 7 Методические рекомендации к опросу                                       | 34 |
| 8 Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям          | 36 |
| 9 Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям             | 38 |
| 1 Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и<br>0 зачетов | 40 |
| Заключение                                                                 | 43 |
| Список использованных источников                                           | 44 |

## 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 написанию реферата

**Реферат** - письменная работа объемом 10-18 печатных страниц, выполняемая студентом в течение длительного срока (от одной недели до месяца).

Реферат (от лат. referre - докладывать, сообщать) - краткое точное изложение сущности какого-либо вопроса, темы на основе одной или нескольких книг, монографий или других первоисточников. Реферат должен содержать основные фактические сведения и выводы по рассматриваемой теме<sup>1</sup>.

Выполнение и защита реферата призваны дать аспиранту возможность всесторонне изучить интересующую его проблему и вооружить его навыками научного и творческого подхода к решению различных задач в исследуемой области.

Основными задачами выполнения и защиты реферата являются развитие у студентов общекультурных и профессиональных компетенций, среди них:

- формирование навыков аналитической работы с литературными источниками разных видов;
- развитие умения критически оценивать и обобщать теоретические положения;
- стимулирование навыков самостоятельной аналитической работы;
- углубление, систематизация и интеграция теоретических знаний и практических навыков по соответствующему направлению высшего образования;
- презентация навыков публичной дискуссии.

### *Структура и содержание реферата*

Подготовка материалов и написание реферата - один из самых трудоемких процессов. Работа над рефератом сводится к следующим этапам.

1. Выбор темы реферата.
2. Предварительная проработка литературы по теме и составление «рабочего» плана реферата.
3. Конкретизация необходимых элементов реферата.
4. Сбор и систематизация литературы.
5. Написание основной части реферата.
6. Написание введения и заключения.
7. Представление реферата преподавателю.
8. Защита реферата.

### *Выбор темы реферата*

Перечень тем реферата определяется преподавателем, который ведет дисциплину. Вместе с тем, аспиранту предоставляется право самостоятельной формулировки темы реферата с необходимым обоснованием целесообразности ее разработки и согласованием с преподавателем. Рассмотрев инициативную тему реферата студента, преподаватель имеет право ее отклонить, аргументировав свое решение, или, при согласии студента, переформулировать тему.

При выборе темы нужно иметь в виду следующее:

1. Тема должна быть актуальной, то есть затрагивать важные в данное время проблемы общественно-политической, экономической или культурной жизни общества.
2. Не следует формулировать тему очень широко: вычленение из широкой проблемы узкого, специфического вопроса помогает проработать тему глубже.

---

<sup>1</sup> Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml>

3. Какой бы интересной и актуальной ни была тема, прежде всего, следует удостовериться, что для ее раскрытия имеются необходимые материалы.

4. Тема должна открывать возможности для проведения самостоятельного исследования, в котором можно будет показать умение собирать, накапливать, обобщать и анализировать факты и документы.

5. После предварительной самостоятельной формулировки темы необходимо проконсультироваться с преподавателем с целью ее возможного уточнения и углубления.

### ***Предварительная проработка литературы по теме и составление «рабочего» плана реферата***

Подбор литературы следует начинать сразу же после выбора темы реферата. Первоначально с целью обзора имеющихся источников целесообразно обратиться к электронным ресурсам в сети Интернет и, в частности, к электронным информационным ресурсам УГГУ: благодаря оперативности и мобильности такого источника информации, не потратив много времени, можно создать общее представление о предмете исследования, выделить основные рубрики (главы, параграфы, проблемные модули) будущего курсовой работы. При подборе литературы следует также обращаться к предметно-тематическим каталогам и библиографическим справочникам библиотеки УГГУ, публичных библиотек города.

Предварительное ознакомление с источниками следует расценивать как первый этап работы над рефератом. Для облегчения дальнейшей работы необходимо тщательно фиксировать все просмотренные ресурсы (даже если кажется, что тот или иной источник непригоден для использования в работе над рефератом, впоследствии он может пригодиться, и тогда его не придется искать).

Результатом предварительного анализа источников является рабочий план, представляющий собой черновой набросок исследования, который в дальнейшем обрастает конкретными чертами. Форма рабочего плана допускает определенную степень произвольности. Первоначальный вариант плана должен отражать основную идею работы. При его составлении следует определить содержание отдельных глав и дать им соответствующее название; продумать содержание каждой главы и наметить в виде параграфов последовательность вопросов, которые будут в них рассмотрены. В реферате может быть две или три главы - в зависимости от выбранной проблемы, а также тех целей и задач исследования.

Работа над предварительным планом необходима, поскольку она дает возможность еще до начала написания реферата выявить логические неточности, информационные накладки, повторы, неверную последовательность глав и параграфов, неудачные формулировки выделенных частей или даже реферата в целом.

Рабочий план реферата разрабатывается студентом самостоятельно и может согласовываться с преподавателем.

### ***Конкретизация необходимых элементов реферата***

Реферат должен иметь четко определенные цель и задачи, объект, предмет и методы исследования. Их необходимо сформулировать до начала непосредственной работы над текстом.

Цель реферата представляет собой формулировку результата исследовательской деятельности и путей его достижения с помощью определенных средств. Учитывайте, что у работы может быть только одна цель.

Задачи конкретизируют цель, в реферате целесообразно выделить три-четыре задачи. Задачи - это теоретические и практические результаты, которые должны быть получены в реферате. Постановку задач следует делать как можно более тщательно, т.к. их

решение составляет содержание разделов (подпунктов, параграфов) реферата. В качестве задач может выступать либо решение подпроблем, вытекающих из общей проблемы, либо задачи анализа, обобщения, обоснования, разработки отдельных аспектов проблемы, ведущие к формулировке возможных направлений ее решения.

Объект исследования - процесс или явление, порождающие проблемную ситуацию и избранные для изучения.

Предмет исследования - все то, что находится в границах объекта исследования в определенном аспекте рассмотрения.

Методы исследования, используемые в реферате, зависят от поставленных цели и задач, а также от специфики объекта изучения. Это могут быть методы системного анализа, математические и статистические методы, сравнения, обобщения, экспертных оценок, теоретического анализа и т.д.

Впоследствии формулировка цели, задач, объекта, предмета и методов исследования составят основу Введения к реферату.

### ***Сбор и систематизация литературы***

Основные источники, использование которых возможно и необходимо в реферате, следующие:

- учебники, рекомендованные Министерством образования и науки РФ;
- электронные ресурсы УГГУ на русском и иностранном языках;
- статьи в специализированных и научных журналах;
- диссертации и монографии по изучаемой теме;
- инструктивные материалы и законодательные акты (только последних изданий);
- данные эмпирических и прикладных исследований (статистические данные, качественные интервью и т.д.)
- материалы интернет-сайтов.

Систематизацию получаемой информации следует проводить по основным разделам реферата, предусмотренным планом. При изучении литературы не стоит стремиться освоить всю информацию, заключенную в ней, а следует отбирать только ту, которая имеет непосредственное отношение к теме работы. Критерием оценки прочитанного является возможность его использования в реферате.

Сбор фактического материала - один из наиболее ответственных этапов подготовки реферата. От того, насколько правильно и полно собран фактический материал, во многом зависит своевременное и качественное написание работы. Поэтому, прежде чем приступить к сбору материала, аспиранту необходимо тщательно продумать, какой именно фактический материал необходим для реферата и составить, по возможности, специальный план его сбора и анализа. После того, как изучена и систематизирована отобранная по теме литература, а также собран и обработан фактический материал, возможны некоторые изменения в первоначальном варианте формулировки темы и в плане реферата.

### ***Написание основной части реферата***

Изложение материала должно быть последовательным и логичным. Общая логика написания параграфа сводится к стандартной логической схеме «Тезис - Доказательство - Вывод» (количество таких цепочек в параграфе, как правило, ограничивается тремя - пятью доказанными тезисами).

Все разделы реферата должны быть связаны между собой. Особое внимание следует обращать на логические переходы от одной главы к другой, от параграфа к параграфу, а внутри параграфа - от вопроса к вопросу.

Использование цитат в тексте необходимо для того, чтобы без искажений передать мысль автора первоисточника, для идентификации взглядов при сопоставлении различных



точек зрения и т.д. Отталкиваясь от содержания цитат, необходимо создать систему убедительных доказательств, важных для объективной характеристики изучаемого вопроса. Цитаты также могут использоваться и для подтверждения отдельных положений работы.

Число используемых цитат должно определяться потребностями разработки темы. Цитатами не следует злоупотреблять, их обилие может восприниматься как выражение слабости собственной позиции автора. Оптимальный объем цитаты - одно-два, максимум три предложения. Если цитируемый текст имеет больший объем, его следует заменять аналитическим пересказом.

Во всех случаях употребления цитат или пересказа мысли автора необходимо делать точную ссылку на источник с указанием страницы.

Авторский текст (собственные мысли) должен быть передан в научном стиле. Научный стиль предполагает изложение информации от первого лица множественного числа («мы» вместо «я»). Его стоит обозначить хорошо известными маркерами: «По нашему мнению», «С нашей точки зрения», «Исходя из этого мы можем заключить, что...» и т.п. или безличными предложениями: «необходимо подчеркнуть, что...», «важно обратить внимание на тот факт, что.», «следует отметить.» и т.д.

Отдельные положения реферата должны быть иллюстрированы цифровыми данными из справочников, монографий и других литературных источников, при необходимости оформленными в справочные или аналитические таблицы, диаграммы, графики. При составлении аналитических таблиц, диаграмм, графиков используемые исходные данные выносятся в приложение, а в тексте приводятся результаты расчетов отдельных показателей (если аналитическая таблица по размеру превышает одну страницу, ее целиком следует перенести в приложение). В тексте, анализирующем или комментирующем таблицу, не следует пересказывать ее содержание, а уместно формулировать основной вывод, к которому подводят табличные данные, или вводить дополнительные показатели, более отчетливо характеризующие то или иное явление или его отдельные стороны. Все материалы, не являющиеся необходимыми для решения поставленной в работе задачи, также выносятся в приложение.

### ***Написание введения и заключения***

Введение и заключение - очень важные части реферата. Они должны быть тщательно проработаны, выверены логически, стилистически, орфографически и пунктуационно.

Структурно введение состоит из нескольких логических элементов. Во введении в обязательном порядке обосновываются:

- актуальность работы (необходимо аргументировать, в силу чего именно эта проблема значима для исследования);
- характеристика степени разработанности темы (краткий обзор имеющейся научной литературы по рассматриваемому вопросу, призванный показать знакомство студента со специальной литературой, его умение систематизировать источники, критически их рассматривать, выделять существенное, оценивать ранее сделанное другими исследователями, определять главное в современном состоянии изученности темы);
- цель и задачи работы;
- объект и предмет исследования;
- методы исследования;
- теоретическая база исследования (систематизация основных источников, которые использованы для написания своей работы);
- структура работы (название глав работы и их краткая характеристика).

По объему введение занимает 1,5-2 страницы текста, напечатанного в соответствии с техническими требованиями, определенными преподавателем.

Заключение содержит краткую формулировку результатов, полученных в ходе работы, указание на проблемы практического характера, которые были выявлены в процессе исследования, а также рекомендации относительно их устранения. В заключении возможно повторение тех выводов, которые были сделаны по главам. Объем заключения - 1 - 3 страницы печатного текста.

### ***Представление реферата преподавателю***

Окончательный вариант текста реферата необходимо распечатать и вставить в папку-скоросшиватель. Законченный и оформленный в соответствии с техническими требованиями реферат подписывается студентом и представляется в распечатанном и в электронном виде в срок, обозначенный преподавателем.

Перед сдачей реферата аспирант проверяет его в системе «Антиплагиат» (<http://www.antiplagiat.ru/>), пишет заявление о самостоятельном характере работы, где указывает процент авторского текста, полученный в результате тестирования реферата в данной системе. Информацию, полученную в результате тестирования реферата в данной системе (с указанием процента авторского текста), аспирант в печатном виде предоставляет преподавателю вместе с окончательным вариантом текста реферата, который не подлежит доработке или замене.

### ***Защита реферата***

При подготовке реферата к защите (если она предусмотрена) следует:

1. Составить план выступления, в котором отразить актуальность темы, самостоятельный характер работы, главные выводы и/или предложения, их краткое обоснование и практическое и практическое значение - с тем, чтобы в течение 3 - 5 минут представить достоинства выполненного исследования.

2. Подготовить иллюстративный материал: схемы, таблицы, графики и др. наглядную информацию для использования во время защиты. Конкретный вариант наглядного представления результатов определяется форматом процедуры защиты реферата.

### ***Критерии оценивания реферата***

*Критерии оценивания реферата:* новизна текста, степень раскрытия сущности вопроса, соблюдение требований к оформлению.

*Новизна текста* – обоснование актуальности темы; новизна и самостоятельность в постановке проблемы, формулирование нового аспекта известной проблемы; умение работать с литературой, систематизировать и структурировать материал; наличие авторской позиции, самостоятельная интерпретация описываемых в реферате фактов и проблем – 4 балла.

*Степень раскрытия сущности вопроса* - соответствие содержания доклада его теме; полнота и глубина знаний по теме; умение обобщать, делать выводы, сопоставлять различные точки зрения по вопросу (проблеме); оценка использованной литературы (использование современной научной литературы) – 4 балла.

*Соблюдение требований к оформлению* - правильность оформления ссылок на источники, списка использованных источников; грамотное изложение текста (орфографическая, пунктуационная, стилистическая культура); владение терминологией; корректность цитирования – 4 балла.

*Критерии оценивания публичного выступления (защита реферата):* логичность построения выступления; грамотность речи и владение профессиональной терминологией; обоснованность выводов; умение отвечать на вопросы; поведение при защите работы (манера говорить, отстаивать свою точку зрения, привлекать внимание к важным моментам в докладе или ответах на вопросы и т.д.) соблюдение требований к объёму доклада – 10 баллов.

*Критерии оценивания презентации:* дизайн и мультимедиа – эффекты, содержание – 4 балла.

Всего – 25 баллов.

**Оценка «зачтено»**

Оценка «зачтено» – реферат полностью соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки) – 23-25 баллов.

*Критерии оценивания реферата:* актуальность темы обоснована, сформулирован новый аспект рассмотрения проблемы, присутствует новизна и самостоятельность в постановке проблемы, анализируемый материал систематизирован и структурирован, широкий диапазон и качество (уровень) используемого информационного пространства (привлечены различные источники научной информации), прослеживается наличие авторской позиции и самостоятельной интерпретации описываемых в реферате фактов и проблем.

*Степень раскрытия сущности вопроса* - содержание реферата соответствует теме, продемонстрирована полнота и глубина знаний по теме, присутствует личная оценка (вывод), объяснены альтернативные взгляды на рассматриваемую проблему и обосновано сбалансированное заключение; представлен критический анализ использованной литературы (использование современной научной литературы).

*Соблюдение требований к оформлению* – текст оформлен в соответствии с методическими требованиями и ГОСТом, в работе соблюдены правила русской орфографии и пунктуации, выдержана стилистическая культура научного текста, четкое и полное определение рассматриваемых понятий (категорий), приводятся соответствующие примеры в строгом соответствии с рассматриваемой проблемой, соблюдена корректность при цитировании источников.

*Критерии оценивания презентации:* цвет фона гармонирует с цветом текста, всё отлично читается, использовано 3 цвета шрифта, все страницы выдержаны в едином стиле, гиперссылки выделены и имеют разное оформление до и после посещения кадра, анимация присутствует только в тех местах, где она уместна и усиливает эффект восприятия текстовой части информации, звуковой фон соответствует единой концепции и усиливает эффект восприятия текстовой части информации, размер шрифта оптимальный, все ссылки работают, содержание является строго научным, иллюстрации (графические, музыкальные, видео) усиливают эффект восприятия текстовой части информации, орфографические, пунктуационные, стилистические ошибки отсутствуют, наборы числовых данных проиллюстрированы графиками и диаграммами в наиболее адекватной форме, информация является актуальной и современной, ключевые слова в тексте выделены.

*Критерии оценивания публичного выступления:* выступление логично построено, выводы аргументированы, свободное владение профессиональной терминологией, в речи отсутствуют орфоэпические, лексические, грамматические и синтаксические ошибки, дает полные и исчерпывающие ответы на вопросы, соблюдены этические нормы поведения при защите работы, владеет различными способами привлечения и удержания внимания и интереса аудитории к сообщению, соблюдены требования к объёму доклада.

Оценка «зачтено» - реферат в основном соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки) – 18-22 баллов.

*Критерии оценивания реферата:* актуальность темы обоснована, сформулирован новый аспект рассмотрения проблемы, анализируемый материал систематизирован и структурирован, представлен достаточный диапазон используемого информационного

пространства (привлечены несколько источников научной информации), прослеживается наличие авторской позиции в реферате при отборе фактов и проблем.

*Степень раскрытия сущности вопроса* - содержание реферата соответствует теме, продемонстрирована достаточная осведомленность знаний по теме, присутствует личная оценка (вывод), объяснены 2-3 взгляда на рассматриваемую проблему и обосновано заключение; представлен критический обзор использованной литературы (использование современной научной литературы).

*Соблюдение требований к оформлению* – текст оформлен в соответствии с методическими требованиями и ГОСТом, в работе имеются незначительные ошибки правил русской орфографии и пунктуации, выдержана стилистическая культура научного текста, четкое определение рассматриваемых понятий (категорий), приводятся соответствующие примеры в строгом соответствии с рассматриваемой проблемой, соблюдена корректность при цитировании источников.

*Критерии оценивания презентации:* цвет фона хорошо соответствует цвету текста, всё можно прочесть, использовано 3 цвета шрифта, 1-2 страницы имеют свой стиль оформления, отличный от общего, гиперссылки выделены и имеют разное оформление до и после посещения кадра, анимация присутствует только в тех местах, где она уместна, звуковой фон соответствует единой концепции и привлекает внимание зрителей в нужных местах - именно к информации, размер шрифта оптимальный, все ссылки работают, содержание в целом является научным, иллюстрации (графические, музыкальные, видео) соответствуют тексту, орфографические, пунктуационные, стилистические ошибки практически отсутствуют, наборы числовых данных проиллюстрированы графиками и диаграммами, информация является актуальной и современной, ключевые слова в тексте выделены

*Критерии оценивания публичного выступления* : выступление логично построено, выводы аргументированы, испытывает незначительные затруднения при использовании профессиональной терминологии, в речи допускает в незначительном количестве орфоэпические, лексические, грамматические и синтаксические ошибки, дает полные и исчерпывающие ответы на вопросы, соблюдены этические нормы поведения при защите работы, владеет ограниченным набором способов привлечения внимания аудитории к сообщению, соблюдены требования к объёму доклада.

Оценка «зачтено» - реферат частично соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки) – 13-17 баллов.

*Критерии оценивания реферата:* актуальность темы обоснована, сформулирован новый аспект рассмотрения проблемы, анализируемый материал систематизирован и структурирован, представлен достаточный диапазон используемого информационного пространства (привлечены несколько источников научной информации), прослеживается наличие авторской позиции в реферате при отборе фактов и проблем.

*Степень раскрытия сущности вопроса* - содержание реферата соответствует теме, продемонстрирована достаточная осведомленность знаний по теме, присутствует личная оценка (вывод), объяснены 2-3 взгляда на рассматриваемую проблему и обосновано заключение; представлен критический обзор использованной литературы (использование современной научной литературы).

*Соблюдение требований к оформлению* – оформление текста частично не соответствует методическими требованиям и ГОСТу, в работе имеются ошибки правил русской орфографии и пунктуации, в целом выдержана стилистическая культура научного текста, четкое определение рассматриваемых понятий (категорий), частично не соблюдена корректность при цитировании источников.

*Критерии оценивания презентации:* цвет фона плохо соответствует цвету текста, использовано более 4 цветов шрифта, некоторые страницы имеют свой стиль оформления, гиперссылки выделены, анимация дозирована, звуковой фон не соответствует единой концепции, но не носит отвлекающий характер, размер шрифта средний (соответственно,

объём информации слишком большой — кадр несколько перегружен), ссылки работают, содержание включает в себя элементы научности, иллюстрации (графические, музыкальные, видео) в определенных случаях соответствуют тексту, есть орфографические, пунктуационные, стилистические ошибки, наборы числовых данных чаще всего проиллюстрированы графиками и диаграммами, информация является актуальной и современной ключевые слова в тексте, чаще всего, выделены.

*Критерии оценивания публичного выступления:* в выступлении нарушено логическое построение, выводы не аргументированы, испытывает затруднения при использовании профессиональной терминологии, в речи допускает орфоэпические, лексические, грамматические и синтаксические ошибки, дает краткие ответы на вопросы, в целом соблюдены этические нормы поведения при защите работы, соблюдены требования к объёму доклада.

#### **Оценка «не зачтено»**

Оценка «не зачтено» - реферат не соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки) – 0-12 баллов.

*Критерии оценивания реферата:* актуальность темы не обоснована, не сформулирован новый аспект рассмотрения проблемы, анализируемый материал не систематизирован, ограниченный диапазон используемого информационного пространства (привлечен 1 источник научной информации), отсутствует авторская позиция в реферате.

*Степень раскрытия сущности вопроса* - содержание реферата не соответствует теме, не продемонстрирована осведомленность знаний по теме, отсутствует личная оценка (вывод), представлен 1 позиция рассмотрения проблемы, заключение не обосновано, отсутствует критический обзор использованной литературы.

*Соблюдение требований к оформлению* – оформление текста не соответствует методическими требованиями и ГОСТу, в работе выполнена с ошибками правил русской орфографии и пунктуации, не выдержана стилистическая культура научного текста, отсутствует четкое определение рассматриваемых понятий (категорий), не соблюдена корректность при цитировании источников.

*Критерии оценивания презентации:* цвет фона не соответствует цвету текста, использовано более 5 цветов шрифта, каждая страница имеет свой стиль оформления, гиперссылки не выделены, анимация отсутствует (или же презентация перегружена анимацией), звуковой фон не соответствует единой концепции, носит отвлекающий характер, слишком мелкий шрифт (соответственно, объём информации слишком велик — кадр перегружен), не работают отдельные ссылки, содержание не является научным, иллюстрации (графические, музыкальные, видео) не соответствуют тексту, много орфографических, пунктуационных, стилистических ошибок, наборы числовых данных не проиллюстрированы графиками и диаграммами, информация не представляется актуальной и современной, ключевые слова в тексте не выделены

*Критерии оценивания публичного выступления:* отказывается от защиты или в выступлении нарушено логическое построение, отсутствуют выводы, не использует профессиональную терминологию, в речи допускает значительном количестве орфоэпические, лексические, грамматические и синтаксические ошибки, не отвечает на вопросы, нарушает со этические нормы поведения при защите работы, не соблюдены требования к объёму доклада.

## 2. Методические рекомендации по написанию эссе

*Эссе* - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем (тема может быть предложена и студентом, но обязательно должна быть согласована с 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*

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.*

При работе над Введением могут помочь ответы на следующие вопросы: «Надо ли давать определения терминам, прозвучавшим в теме эссе?», «Почему тема, которую я раскрываю, является важной в настоящий момент?», «Какие понятия будут вовлечены в мои рассуждения по теме?», «Могу ли я разделить тему на несколько более мелких подтем?».

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 — совершенно 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 убедиться 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 определяется жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

### 3. Методические рекомендации по написанию реферата статьи

Реферирование представляет собой интеллектуальный творческий процесс, включающий осмысление, аналитико-синтетическое преобразование информации и создание нового документа - реферата, обладающего специфической языково-стилистической формой.

**Рефератом статьи** (далее - реферат) называется текст, передающий основную информацию подлинника в свернутом виде и составленный в результате ее смысловой переработки<sup>2</sup>.

Основными функциями рефератов являются следующие: информативная, поисковая, индикативная, справочная, сигнальная, адресная, коммуникативная.

*Информативная функция.* Поскольку реферат является кратким изложением основного содержания первичного документа, главная его задача состоит в том, чтобы передавать фактографическую информацию.

Отсюда информативность является наиболее существенной и отличительной чертой реферата.

*Поисковая и справочная функции.* Как средство передачи информации реферат нередко заменяет чтение первичного документа. Обращаясь к рефератам, пользователь осуществляет по ним непосредственный поиск информации, причем информации фактографической. В этом проявляется поисковая функция реферата, а также функция справочная, поскольку извлекаемая из реферата информация во многом представляет справочный интерес.

*Индикативная функция.* Реферат должен характеризовать оригинальный материал не только содержательно, но и описательно. Путем описания обычно даются дополнительные характеристики первичного материала: его вид (книга, статья), наличие в нем иллюстраций и т.д.

Кроме того, в реферате иногда приходится ограничиваться лишь названием или перечислением отдельных вопросов содержания. Это еще одно свойство реферата, которое принято называть индикативностью.

*Адресная функция.* Точным библиографическим описанием первичного документа одновременно достигается то, что реферат способен выполнять адресную функцию, без чего бессмысленен документальный информационный поиск.

*Сигнальная функция.* Эта функция реферата проявляется, когда осуществляется оперативное информирование с помощью авторских рефератов о планах выпуска литературы, а также о существовании неопубликованных, в том числе депонированных работ.

Диапазон использования рефератов очень широк. Они применяются как в индивидуальном, так и в коллективном информационном обеспечении, проводимом в интересах научно-исследовательских работ, учебного процесса и т.д. Они же являются средством международного обмена информацией и выполняют научно-коммуникативные функции в интернациональном масштабе.

Являясь наиболее экономным средством ознакомления с первоисточником, реферат должен отразить все существенные моменты последнего и особо выделить основную мысль автора. Многообразные функции реферата в системе научных коммуникаций можно объединить в следующие основные группы: информативные, поисковые, коммуникативные. Поскольку реферат передает в сжатом виде текст первоисточника, он позволяет специалисту либо получить релевантную информацию, либо сделать вывод о том, что обращаться к первоисточнику нет необходимости.

Существует три основных способа изложения информации в реферате.

---

<sup>2</sup> Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5

*Экстрагирование* - представление информации первоисточника в реферате. Эта методика достаточно проста: референт отмечает предложения, которые затем полностью или с незначительным перефразированием переносятся в реферат-экстракт.

*Перефразирование* - наиболее распространенный способ реферативного изложения. Здесь имеет место частичное текстуральное совпадение с первоисточником. Перефразирование предполагает не использование значительной части сведений оригинала, а перестройку его смысловую и синтаксическую структуры. Перестройка текста достигается за счет таких операций, как замещение (одни фрагменты текста заменяются другими), совмещения (объединяются несколько предложений в одно) и обобщение.

*Интерпретация* - это способ реферативного изложения, когда содержание первоисточника может раскрываться либо в той же последовательности, либо на основе обобщенного представления о нем. Разновидностью интерпретированных рефератов могут быть авторефераты диссертаций, тезисы докладов научных конференций и совещаний.

Для качественной подготовки реферата необходимо владеть основными приемами анализа и синтеза, знать основные требования, предъявляемые к рефератам, их структурные и функциональные особенности.

Процесс реферирования делится на пять основных этапов:

1. Определение способа охвата первоисточника, который в данном конкретном случае наиболее целесообразен, для реферирования (общее, фрагментное, аспектное и т.д.).
2. Беглое ознакомительное чтение, когда референт решает вопрос о научно-практической значимости и информационной новизне первоисточника. Анализ его вида позволяет осуществить выбор аспектной схемы изложения реферата.
3. Конструирование текста реферата, которое осуществляется с использованием приемов перефразирования, обобщения, абстрагирования и т.д. Очень редко предложения или фрагменты оригинала используются без изменения. Запись полученных в результате синтеза конструкций осуществляется в последовательности, соответствующей разработанной схеме или плану.
4. Критический анализ полученного текста с точки зрения потребителя реферата.
5. Оформление и редактирование, которые являются заключительным этапом подготовки реферата.

Все, что в первичном документе не заслуживает внимания потребителя реферата, должно быть опущено. Так, в реферат не включаются:

- общие выводы, не вытекающие из полученных результатов;
- информация, не понятная без обращения к первоисточнику;
- общеизвестные сведения;
- второстепенные детали, избыточные рассуждения;
- исторические справки;
- детальные описания экспериментов и методик;
- сведения о ранее опубликованных документах и т. д.

Приемы составления реферата позволяют обеспечить соблюдение основных методических принципов реферирования: адекватности, информативности, краткости и достоверности.

Хотя реферат по содержанию зависит от первоисточника, он представляет собой новый, самостоятельный документ. Общими требованиями к языку реферата являются точность, краткость, ясность, доступность.

По своим языковым и стилистическим средствам реферат отличается от первоисточника, поскольку референт использует иные термины и строит предложения в соответствии со стилем реферата. Наряду с сообщением могут использоваться перифразы. Вместе с тем в ряде случаев стилистика реферата может совпадать с первоисточником, что особенно характерно для расширенных рефератов.

Изложение реферата должно обеспечивать наибольшую семантическую адекватность, семантическую эквивалентность, краткость и логическую последовательность. Для этого

необходимы определенные лексические и грамматические средства. Адекватность и эквивалентность достигаются за счет правильного употребления терминов, краткость - за счет экономной структуры предложений и использования терминологической лексики.

Быстрое и адекватное восприятие реферата обеспечивается употреблением простых законченных предложений, имеющих правильную грамматическую форму. Громоздкие предложения затрудняют понимание реферата, поэтому сложные предложения, как правило, расчленяются на ряд простых при сохранении логических взаимоотношений между ними путем замены соединительных слов, например, местоимениями.

Широко используются неопределенно-личные предложения без подлежащего. Они концентрируют внимание читающего только на факте, усиливая тем самым информационно-справочную значимость реферата.

Реферату, как одному из жанров научного стиля, присущи те же семантико-структурные особенности, что и научному стилю в целом: объективность, однозначность, логичность изложения, безличная манера повествования, широкое использование научных терминов, абстрактной лексики и т.д. В то же время этот жанр имеет и свою специфику стиля: фактографичность (констатация фактов), обобщенно-отвлеченный характер изложения, предельная краткость, подчеркнутая логичность, стандартизация языкового выражения.

Рефераты делятся на информативные (реферат-конспект), индикативные, указательные (реферат-резюме) и обзорные (реферат-обзор)<sup>3</sup>. В основу их классификации положена степень аналитико-синтетической переработки источника.

*Информативные рефераты* включают в себя изложение (в обобщенном виде) всех основных проблем, изложенных в первоисточнике, их аргументацию, основные результаты и выводы, имеющие теоретическую и практическую ценность.

*Индикативные рефераты* указывают только на основные моменты содержания первоисточника. Их также называют реферативной аннотацией.

*Научные рефераты* отражают смысловую сторону образно-тематического содержания. В его основе лежат такие мыслительные операции, как обобщение и абстракция.

*Реферат-резюме* направлен на перечисление основных проблем источника без содержания доказательств.

Реферат, независимо от его типа, имеет единую структуру:

- название реферируемой работы (или выходные данные);
- композиция реферируемой работы;
- главная мысль реферируемого материала;
- изложение содержания;
- выводы автора по реферируемому материалу.

Обычно в самом первоисточнике главная мысль становится ясной лишь после прочтения всего материала, в реферате же с нее начинается изложение содержания, она предшествует всем выводам и доказательствам. Такая последовательность изложения необходима для того, чтобы с самого начала сориентировать читателя относительно основного содержания источника и его перспективной ценности. Выявление главной мысли источника становится весьма ответственным делом референта и требует от него вдумчивого отношения к реферируемому материалу. Иногда эта главная мысль самим автором даже не формулируется, а лишь подразумевается. Референту необходимо суметь сжато ее сформулировать, не внося своих комментариев.

Содержание реферируемого материала излагается в последовательности первоисточника по главам, разделам, параграфам. Обычно дается формулировка вопроса, приводится вывод по этому вопросу и необходимая цепь доказательств в их логической последовательности.

---

<sup>3</sup> Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. - 368с.

Следует иметь в виду, что иногда выводы автора не вполне соответствуют главной мысли первоисточника, так как могут быть продиктованы факторами, выходящими за пределы излагаемого материала. Но в большинстве случаев выводы автора вытекают из главной мысли, выявление которой и помогает их понять.

Перечень типичных смысловых частей информационного реферата и используемых в каждой из них типичных языковых средств представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Перечень типичных смысловых частей информационного реферата и используемых в каждой из них типичных языковых средств**

| Смысловые части реферата                              | Используемые языковые средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Название реферируемой работы (или выходные данные) | - В. Вильсон. Наука государственного управления // Классики теории государственного управления: американская школа. Под ред. ДЖ. Шафритца, А. Хайда. – М. : Изд-во МГУ, 2003. – с. 24-42.;<br>- Статья называется (носит название, озаглавлена)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2. Композиция реферируемой работы                     | - Статья <ul style="list-style-type: none"> <li>• состоит из.....</li> <li>• делится на .....</li> <li>• начинается с.....</li> <li>• кончается (чем?).....;</li> </ul> - В статье можно выделить две части.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 3. Проблематика и основные положения работы           | - Статья <ul style="list-style-type: none"> <li>• посвящена теме (проблеме, вопросу) .....</li> <li>• представляет собой анализ (обзор, описание, обобщение, изложение) .....</li> </ul> - Автор статьи <ul style="list-style-type: none"> <li>• ставит (рассматривает, освещает, поднимает, затрагивает) следующие вопросы (проблемы) .....</li> <li>• особо останавливается (на чем?) .....</li> <li>• показывает значение (чего?) .....</li> <li>• раскрывает сущность (чего?) .....</li> <li>• обращает внимание (на что?) .....</li> <li>• уделяет внимание (чему?) .....</li> <li>• касается (чего?) .....</li> </ul> - В статье <ul style="list-style-type: none"> <li>• рассматривается (что?) .....</li> <li>• анализируется (что?) .....</li> <li>• делается анализ (обзор, описание, обобщение, изложение) (чего?) .....</li> <li>• раскрывается, освещается вопрос...</li> <li>• обобщается (что?) .....</li> <li>• отмечается важность (чего?) .....</li> <li>• касается (чего?).....</li> </ul> - В статье <ul style="list-style-type: none"> <li>• показано (что?) .....</li> <li>• уделено большое внимание (чему?) .....</li> <li>• выявлено (что?) .....</li> <li>• уточнено (что?) .....</li> </ul> |
| 4. Аргументация основных положений работы             | - Автор <ul style="list-style-type: none"> <li>• приводит примеры (факты, цифры, данные) .....</li> <li>• иллюстрирует это положение .....</li> <li>• подтверждает (доказывает, аргументирует) свою точку зрения примерами (данными)...</li> </ul> - в подтверждение своей точки зрения автор приводит доказательства (аргументы, ряд доказательств, примеры, иллюстрации, данные, результаты наблюдений)...<br>- Для доказательств своих положений автор описывает <ul style="list-style-type: none"> <li>• эксперимент .....</li> <li>• в ходе эксперимента автор привлекал ...</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. Выводы, заключения | <ul style="list-style-type: none"> <li>• выполненные исследования показывают...</li> <li>• приведенные наблюдения (полученные данные) приводят к выводу (позволяют сделать выводы)..</li> <li>• из сказанного можно сделать вывод, что .....</li> <li>• анализ результатов свидетельствует ...</li> </ul> <p>- На основании проведенных наблюдений (полученных данных, анализ результатов)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• был сделан вывод (можно сделать заключение) ....</li> <li>• автор приводит выводы .....</li> </ul> |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Реферат может содержать комментарий референта, только в том случае, если референт является достаточно компетентным в данном вопросе и может вынести квалифицированное суждение о реферируемом материале. В комментарий входят критическая характеристика первоисточника, актуальность освещенных в нем вопросов, суждение об эффективности предложенных решений, указание, на кого рассчитан реферируемый материал.

Комментарий реферата может содержать оценку тех или иных положений, высказываемых автором реферируемой работы. Эта оценка чаще всего выражает согласие или несогласие с точкой зрения автора. Языковые средства, которые используются при этом, рассмотрены в таблице 2.

Таблица 2

**Языковые средства, используемых при оценке те положений, высказываемых автором реферируемой работы**

| Смысловые части комментария       | Используемые языковые средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Смысловые части комментария       | <p>- Автор</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• справедливо указывает ....</li> <li>• правильно подходит к анализу (оценке) ....</li> <li>• убедительно доказывает ....</li> <li>• отстаивает свою точку зрения ....</li> <li>• критически относится к работам предшественников .....</li> </ul> <p>- Мы</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• разделяем точку зрения (мнения, оценку) автора .....</li> <li>• придерживаемся подобного же мнения ...</li> <li>• критически относимся к работам предшественников ....</li> </ul> <p>- Можно согласится с автором, что .....</p> <p>- Следует признать достоинства такого подхода к решению ....</p>                                                                                                                                                                                      |
| Несогласие (отрицательная оценка) | <p>- Автор</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• не раскрывает содержания (противоречий, разных точек зрения) ...</li> <li>• противоречит себе (известным фактам) .....</li> <li>• игнорирует общеизвестные факты .....</li> <li>• упускает из вида .....</li> <li>• не критически относится к высказанному положению .....</li> <li>• не подтверждает сказанное примерами....</li> </ul> <p>- Мы</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• придерживаемся другой точки зрения (другого, противоположного мнения)</li> <li>• не можем согласиться (с чем?) ...</li> <li>• трудно согласиться с автором (с таким подходом к решению проблемы, вопроса, задачи) ....</li> <li>• можно выразить сомнение в том, что .....</li> <li>• дискусивно (сомнительно, спорно) , что .....</li> <li>• к недостаткам работы можно отнести .....</li> </ul> |

В реферате могут быть использованы цитаты из реферируемой работы. Они всегда ставятся в кавычки. Следует различать три вида цитирования, при этом знаки препинания ставятся, как в предложениях с прямой речью.

1. Цитата стоит после слов составителя реферата. В этом случае после слов составителя реферата ставится двоеточие, а цитата начинается с большой буквы. Например:

Автор статьи утверждает: «В нашей стране действительно произошел стремительный рост национального самосознания».

2. Цитата стоит перед словами составителя реферата. В этом случае после цитаты ставится запятая и тире, а слова составителя реферата пишутся с маленькой буквы. Например: «В нашей стране действительно стремительный рост национального самосознания», - утверждает автор статьи.

3. Слова составителя реферата стоят в середине цитаты. В этом случае перед ними и после них ставится точка с запятой. Например: «В нашей стране, - утверждает автор статьи, - действительно стремительный рост национального самосознания».

4. Цитата непосредственно включается в слова составителя реферата. В этом случае (а он является самым распространенным в реферате) цитата начинается с маленькой буквы. Например: Автор статьи утверждает, что «в нашей стране действительно стремительный рост национального самосознания».

#### 4. 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<sup>4</sup>. 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.

---

<sup>4</sup> 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 подготавливаются 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 эффективна, 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 групповой и индивидуальной. 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, имеющих 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.

## 5. Методические рекомендации по составлению тестовых заданий

### *Требования к составлению тестовых заданий*

**Тестовое задание (ТЗ)** - варьирующаяся по элементам содержания и по трудности единица контрольного материала, сформулированная в утвердительной форме предложения с неизвестным. Подстановка правильного ответа вместо неизвестного компонента превращает задание в истинное высказывание, подстановка неправильного ответа приводит к образованию ложного высказывания, что свидетельствует о незнании студентом данного учебного материала.

Для правильного составления ТЗ необходимо выполнить следующие *требования*:

1. Содержание каждого ТЗ должно охватывать какую-либо одну смысловую единицу, то есть должно оценивать что-то одно.
2. Ориентация ТЗ на получение *однозначного* заключения.
3. Формулировка содержания ТЗ в виде свернутых кратких суждений. Рекомендуемое количество слов в задании не более 15. В тексте не должно быть преднамеренных подсказок и сленга, а также оценочных суждений автора ТЗ. Формулировка ТЗ должна быть в повествовательной форме (не в форме вопроса). По возможности, текст ТЗ не должен содержать сложноподчиненные конструкции, повелительного наклонения («выберите», «вычислите», «укажите» и т.д). Специфический признак (ключевое слово) выносится в начало ТЗ. Не рекомендуется начинать ТЗ с предлога, союза, частицы.
4. Соблюдение единого стиля оформления ТЗ.

### *Требования к формам ТЗ*

ТЗ может быть представлено в одной из четырех стандартизованных форм:

- закрытой (с выбором одного или нескольких заключений);
- открытой;
- на установление правильной последовательности;
- на установление соответствия.

Выбор формы ТЗ зависит от того, какой вид знаний следует проверить. Так, для оценки фактологических знаний (знаний конкретных фактов, названий, имён, дат, понятий) лучше использовать тестовые задания закрытой или открытой формы.

Ассоциативных знаний (знаний о взаимосвязи определений и фактов, авторов и их теорий, сущности и явления, о соотношении между различными предметами, законами, датами) - заданий на установление соответствия. Процессуальных знаний (знаний правильной последовательности различных действий, процессов) - заданий на определение правильной последовательности.

#### *Тестовое задание закрытой формы*

Если к заданиям даются готовые ответы на выбор (обычно один правильный и остальные неправильные), то такие задания называются заданиями с выбором одного правильного ответа или с единичным выбором.

При использовании этой формы следует руководствоваться правилом: в каждом задании с выбором одного правильного ответа правильный ответ должен быть.

Помимо этого, бывают задания с выбором нескольких правильных ответов или с множественным выбором. Подобная форма заданий не допускает наличия в общем перечне ответов следующих вариантов: «все ответы верны» или «нет правильного ответа».

Вариантов выбора (дистракторов) должно быть не менее 4 и не более 7. Если дистракторов мало, то возрастает вероятность угадывания правильного ответа, если слишком много, то делает задание громоздким. Кроме того, дистракторы в большом количестве часто

бывают неоднородными, и тестируемый сразу исключает их, что также способствует угадыванию.

Дистракторы должны быть приблизительно одной длины. Не допускается наличие повторяющихся фраз (слов) в дистракторах.

***Тестовое задание открытой формы***

В заданиях открытой формы готовые ответы с выбором не даются. Требуется сформулированное самим тестируемым заключение. Задания открытой формы имеют вид неполного утверждения, в котором отсутствует один или несколько ключевых элементов. В качестве ключевых элементов могут быть: число, буква, слово или словосочетание. При формулировке задания на месте ключевого элемента, необходимо поставить прочерк или многоточие. Утверждение превращается в истинное высказывание, если ответ правильный и в ложное высказывание, если ответ неправильный. Необходимо предусмотреть наличие всех возможных вариантов правильного ответа и отразить их в ключе, поскольку отклонения от эталона (правильного ответа) могут быть зафиксированы проверяющим как неверные.

***Тестовые задания на установление правильной последовательности***

Такое задание состоит из однородных элементов некоторой группы и четкой формулировки критерия упорядочения этих элементов.

Задание начинается со слова: «Последовательность».

***Тестовые задания на установление соответствия***

Такое задание состоит из двух групп элементов и четкой формулировки критерия выбора соответствия между ними.

Соответствие устанавливается по принципу 1:1 (одному элементу первой группы соответствует только один элемент второй группы) или 1:М (одному элементу первой группы соответствуют М элементов второй группы). Внутри каждой группы элементы должны быть однородными. Количество элементов второй группы должно превышать количество элементов первой группы. Максимальное количество элементов второй группы должно быть не более 10, первой группы - не менее 2.

Задание начинается со слова: «Соответствие». Номера и буквы используются как идентификаторы (метки) элементов. Арабские цифры являются идентификаторами первой группы, заглавные буквы русского алфавита - второй. Номера и буквы отделяются от содержания столбцов круглой скобкой.

## **6. Требования к написанию и оформлению доклада**

**Доклад (или отчёт)** – один из видов монологической речи, публичное, развёрнутое, официальное, сообщение по определённому вопросу, основанное на привлечении документальных данных.

Обычно любая научная работа заканчивается докладом на специальном научном семинаре, конференции, где участники собираются, чтобы обсудить научные проблемы. На таких семинарах (конференциях) всегда делается доклад по определённой теме. Доклад содержит все части научного отчёта или статьи. Это ответственный момент для докладчика. Здесь проверяются знание предмета исследования, способности проводить эксперимент и объяснять полученные результаты. С другой стороны, люди собираются, чтобы узнать что-то новое для себя. Они тратят своё время и хотят провести время с пользой и интересом. После выступления докладчика слушатели обязательно задают вопросы по теме выступления, и докладчику необходимо научиться понимать суть различных вопросов. Кроме того, на семинаре задача обсуждается, рассматривается со всех сторон, и бывает, что автор узнаёт о своей работе много нового. Часто возникают интересные идеи и неожиданные направления исследований. Работа становится более содержательной. Следовательно, доклад необходим для развития самой науки и для студентов. В этом состоит главное предназначение доклада.

На студенческом семинаре (конференции) всегда подводится итог, делаются выводы, принимается решение или соответствующее заключение. Преподаватель (жюри) выставляет оценку за выполнение доклада и его предьявление, поскольку в учебном заведении данная форма мероприятия является обучающей. Оценки полезно обсуждать со студентами: это помогает им понять уровень их собственных работ. С лучшими сообщениями, сделанными на семинарах, студенты могут выступать впоследствии на студенческих конференциях. Поэтому каждому студенту необходимо обязательно предварительно готовить доклад и учиться выступать публично.

Непосредственная польза выступления студентов на семинаре (конференции) состоит в следующем.

1. Выступление позволяет осуществлять поиск возможных ошибок в постановке работы, методике исследования, обобщении полученных результатов, их интерпретации. Получается, что студенты помогают друг другу улучшить работу. Что может быть ценнее?

2. Выступление дает возможность учиться излагать содержание работы в короткое время, схватывать суть вопросов и толково объяснять существо. Следовательно, учиться делать доклад полезно для работы в любой области знаний.

3. На семинаре (конференции) докладчику принято задавать вопросы. Студентам следует знать, что в научной среде не принято осуждать коллег за заданные в процессе обсуждения вопросы. Однако вопросы должны быть заданы по существу проблемы, исключать переход на личностные отношения. Публичное выступление позволяет студентам учиться корректно, лаконично и по существу отвечать на вопросы, демонстрировать свои знания.

### ***Требования к подготовке доклада***

Доклад может иметь форму публичной лекции, а может содержать в себе основные тезисы более крупной работы (например, реферата, курсовой, дипломной работы, научной статьи). Обычно от доклада требуется, чтобы он был:

- точен в части фактического материала и содержал обоснованные выводы;
- составлен с учетом точки зрения адресата;
- посвящен проблемам, непосредственно относящимся к определенной теме;
- разделен на части, логично построенные;
- достаточно обширен, чтобы исчерпать заявленную тему доклада, но не настолько, чтобы утомлять адресата;

- интересно написан и легко читался (слушался);
- понятен, нагляден и привлекателен по оформлению.

Как правило, доклад содержит две части: текст и иллюстрации. Представление рисунков, таблиц, графиков должно быть сделано с помощью компьютера. Компьютер - идеальный помощник при подготовке выступления на семинаре (конференции). Каждая из частей доклада важна. Хорошо подготовленному тексту всегда сопутствует хорошая презентация. Если докладчик не нашёл времени хорошо подготовить текст, то у него плохо подготовлены и иллюстрации. Это неписаное правило.

Доклад строится по определённой схеме. Только хорошая система изложения даёт возможность логично, взаимосвязано, кратко и убедительно изложить результат. Обычно участники конференции знают, что должно прозвучать в каждой части выступления. В мире ежегодно проходят тысячи семинаров, сотни различных конференций, технология создания докладов совершенствуется. Главное - говорить о природе явления, о процессах, проблемах и причинах Вашего способа их решения, аргументировать каждый Ваш шаг к цели.

На следующие вопросы докладчику полезно ответить самому себе при подготовке выступления, заблаговременно (хуже, если подобные вопросы возникнут у слушателей в процессе доклада). Естественно, отвечать целесообразно честно...

#### 1. Какова цель выступления?

Или: «Я, автор доклада, хочу...»:

- информировать слушателей о чем-то;
- объяснить слушателям что-то;
- обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т.п.) со слушателями;
- спросить у слушателей совета;
- сделать себе PR;
- пожаловаться слушателям на что-то (на жизнь, ситуацию в стране и т.п.).

Т.е. ради чего, собственно, затевается выступление? Если внятного ответа на Вопрос нет, то стоит задуматься, нужно ли такое выступление?

#### 2. Какова аудитория?

На кого рассчитано выступление:

- на студентов;
- на клиента (-ов);
- на коллег-профессионалов;
- на конкурентов;
- на присутствующую в аудитории подругу (друзей)?

#### 3. Каков объект выступления?

О чем собственно доклад, что является его «ядром»:

- одна модель;
- серия моделей;
- динамика изменения модели (-ей);
- условия применения моделей;
- законченная методика;
- типовые ошибки;
- прогнозы;
- обзор, сравнительный анализ;
- постановка проблемы, гипотеза;
- иное?

Естественно, качественный доклад может касаться нескольких пунктов из приведенного списка...

#### 4. Какова актуальность доклада?

Или: почему сегодня нужно говорить именно об этом?

5. В чем заключается новизна темы?

Или: если заменить многоумные и иноязычные термины в тексте доклада на обычные слова, то не станет ли содержание доклада банальностью?

Ссылается ли автор на своих предшественников? Проводит ли сравнение с существующими аналогами?

Стоит заметить, что новизна и актуальность - разные вещи. Новизна характеризует насколько ново содержание выступления по сравнению с существующими аналогами. Актуальность - насколько оно сейчас нужно. Бесспорно, самый выигрышный вариант - и ново, и актуально. Неплохо, если актуально, но не ново. Например, давняя проблема, но так никем и не решенная. Терпимо, если не актуально, но ново - как прогноз. Пример: сделанный Д.И. Менделеевым в XIX веке прогноз, что в будущем дома будут не только обогревать, но и охлаждать (кондиционеров тогда и вправду не знали).

Но если и не ново и не актуально, то нужно ли кому-то такое выступление?

6. Разработан ли автором план (структура и логика) выступления?

Есть ли логичная последовательность авторской мысли? Или же автор планирует свой доклад в стиле: «чего-нибудь наболтаю, а наглядный материал и вопросы слушателей как-нибудь помогут вытянуть выступление...?»

Есть ли выводы с четкой фиксацией главного и нового? Как они подводят итог выступлению?

7. Наглядная иллюстрация материалов

Нужна ли она вообще, и если да, то, что в ней будет содержаться? Отражает ли она логику выступления?

Иллюстрирует ли сложные места доклада?

Важно помнить: иллюстративный материал не должен полностью дублировать текст доклада. Слушатель должен иметь возможность записывать: примеры, дополнения, подробности, свои мысли... А для этого необходимо задействовать как можно больше видов памяти. Гигантской практикой образования доказано: материал усваивается лучше, если зрительная и слуховая память подкрепляются моторной. Т.е. надо дать возможность слушателям записывать, а не только пассивно впитывать материал.

Следует учитывать и отрицательный момент раздаточных материалов: точное повторение рассказа докладчика. Или иначе: если на руках слушателей (в мультимедийной презентации) есть полный письменный текст, зачем им нужен докладчик? К слову сказать, часто красивые слайды не столько иллюстрируют материал, сколько прикрывают бедность содержания...

8. Корректные ссылки

Уже много веков в научной среде считается хорошим тоном указание ссылок на первоисточники, а не утаивание их.

9. Что останется у слушателей:

- раздаточный или наглядный материал: какой и сколько?
- собственные записи: какие и сколько? И что сделано автором по ходу доклада для того, чтобы записи слушателей не исказили авторский смысл?
- в головах слушателей: какие понятия, модели, свойства и условия применения были переданы слушателям?

### ***Требования к составлению доклада***

Полезно придерживаться следующей схемы составления доклада на семинаре (конференции).

Время Вашего доклада ограничено, обычно на него отводится 5-7 минут. За это время докладчик может успеть зачитать в темпе обычной разговорной речи текст объемом не более



3-5-и листов формата А4. После доклада - вопросы слушателей и ответы докладчика (до 3 минут). Полное время Вашего выступления - не более 10-и минут.

Сначала должно прозвучать название работы и фамилии авторов. Обычно название доклада и авторов произносит руководитель семинара (председатель конференции). Он представляет доклад, но допустим и такой вариант, при котором докладчик сам произносит название работы и имена участников исследования. Потраченное время - примерно 30 с.

Следует знать, что название - это краткая формулировка цели. Поэтому название должно быть конкретным и ясно указывать, на что направлены усилия автора. Если в названии менее 10-и слов - это хороший тон. Если больше - рекомендуется сократить. Так советуют многие международные журналы. В выступлении можно пояснить название работы другими словами. Возможно, слушатели лучше Вас поймут, если Вы скажете, какое явление исследуется, что измеряется, что создаётся, разрабатывается или рассчитывается. Максимально ясно покажите, что именно Вас интересует.

#### ***Введение (до 1 мин)***

В этой части необходимо обосновать необходимость проведения исследования и его актуальность. Другими словами, Вы должны доказать, что доклад достоин того, чтобы его слушали. Объясните, почему важно исследовать данное явление. Расскажите, чем интересен выбранный объект с точки зрения науки, заинтересуйте своих слушателей темой Вашего исследования.

Скажите, кто и где решал подобную задачу. Укажите сильные и слабые стороны известных результатов. Учитывайте то, что студенту необходимо учиться работать с литературой, анализировать известные факты. Назовите источники информации, Ваших предшественников по имени, отчеству и фамилии и кратко, какие ими были получены результаты. Обоснуйте достоинство Вашего способа исследования в сравнении с известными результатами. Учтите, что студенческое исследование может быть и познавательного характера, то есть можно исследовать известный науке факт. Поясните, чем он интересен с Вашей точки зрения. Ещё раз сформулируйте цель работы и покажите, какие задачи необходимо решить, чтобы достигнуть цели. Что нужно сделать, создать, решить, вычислить? Делите целое на части - так будет понятнее и проще.

#### ***Методика исследования (до 30 сек.)***

Методика, или способ исследования, должна быть обоснована. Поясните, покажите преимущества и возможности выбранной Вами методики при проведении экспериментального исследования.

#### ***Теоретическая часть (до 1 мин)***

Эта часть обязательна в докладе. Редкий случай, когда можно обойтись без теоретического обоснования предстоящей работы, ведь экспериментальное исследование должно базироваться на теории. Здесь необходимо показать сегодняшний уровень Вашего понимания проблемы и на основании теории попытаться сформулировать постановку задачи. Покажите только основные соотношения и обязательно дайте комментарий. Скажите, что основная часть теории находится в содержании работы (реферате).

#### ***Экспериментальная часть (для работ экспериментального типа) (1,5-2 мин.)***

Покажите и объясните суть проведённого Вами эксперимента. Остановитесь только на главном, основном. Второстепенное оставьте для вопросов.

#### ***Результаты работы (до 1 мин.)***

1. Перечислите основные, наиболее важные, на Ваш взгляд, результаты работы.
2. Расскажите, как он был получен, укажите его характерные особенности.
3. Поясните, что Вы считаете самым важным и почему.
4. Следует ли продолжать исследование, и, если да, то в каком направлении?
5. Каким результатом можно было бы гордиться? Остановитесь на нём подробно.

6. Скажите, что следует из представленной вами информации.
7. Покажите, удалось ли разобраться в вопросах, сформулированных при постановке задачи. Обязательно скажите, достигнута ли цель работы. Закончено ли исследование?
8. Какие перспективы?
9. Покажите, что результат Вам нравится.

#### ***Выводы (до 1 мин.)***

Сжато и чётко сформулируйте выводы. Покажите, что твёрдо установлено в результате проведённого теоретического или экспериментального исследования. Что удалось надёжно выяснить? Какие факты заслуживают доверия?

#### ***Завершение доклада***

Поблагодарите всех за внимание. Помните: если Вы закончили свой доклад на 15 секунд раньше, все останутся довольны и будут ждать начала вопросов и дискуссию. Если Вы просите дополнительно ещё 3 минуты, Вас смогут потерпеть. Это время могут отнять от времени для вопросов, где Вы могли бы показать себя с хорошей стороны. Поэтому есть смысл предварительно хорошо "вычитать" (почти выучить) доклад. Это лучший способ научиться управлять временем.

#### ***Требования к предъявлению доклада во время выступления***

Докладчику следует знать следующие приёмы, обеспечивающие эффективность восприятия устного публичного сообщения.

#### ***Приемы привлечения внимания***

1. Продуманный первый слайд презентации.
2. Обращение.
3. Контакт глаз.
4. Позитивная мимика.
5. Уверенная пантомимика и интонация.
6. Выбор места.

#### ***Приемы привлечения интереса***

В формулировку актуальности включить информацию о том, в чём может быть личный интерес слушателей, в какой ситуации они могут его использовать?

#### ***Приемы поддержания интереса и активной мыслительной деятельности слушателей***

1. Презентация (образы, схемы, диаграммы, логика, динамика, юмор, оформление).
2. Соответствующая невербальная коммуникация (все составляющие!!!).
3. Речь логичная, понятная, средний темп, интонационная выразительность.
4. Разговорный стиль.
5. Личностная вовлеченность.
6. Образные примеры.
7. Обращение к личному опыту.
8. Юмор.
9. Цитаты.
10. Временное соответствие.

#### ***Приемы завершения выхода из контакта***

- обобщение;
- метафора, цитата;
- побуждение к действию.

## 7. 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 изучать 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 избежать 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 <sup>5</sup>.

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).

---

<sup>5</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii\\_dlja\\_studentov\\_21.pdf](http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlja_studentov_21.pdf)

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)<sup>6</sup>.

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.

## **8. 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

---

<sup>6</sup>Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]:  
[http://priab.ru/images/metod\\_agro/Metod\\_Inostran\\_yazyk\\_35.03.04\\_Agro\\_15.01.2016.pdf](http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf)

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 помочь 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 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.

## **9.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.).



## 10. 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 неувоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадет 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 неусттомительный 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 в 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 нормальный 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;
- 6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам;
- 7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.
5. Методические рекомендации по написанию

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Направление подготовки

**38.03.01 Экономика**

Профиль

**Экономика и управление на предприятиях (организациях)**

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры

(название кафедры)

Зав. кафедрой

(подпись)

Шулиманов Д.Ф.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 29.09.2021

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

Инженерно-экономического факультета

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Мочалова Л.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 29.09.2021

(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                              | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....              | 6  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ.....  | 8  |
| ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ.....             | 12 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ..... | 13 |

## 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 знаний 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 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 – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных задач 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 *«Физическая культура и спорт»* 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 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 по данному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине *«Физическая культура и спорт»* являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т. ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим занятиям (в т. ч. ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля), ответы на тестовые задания);
- подготовка к *зачету*.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

### **Тема 1. Физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке студентов, будущих специалистов горнодобывающих и обрабатывающих отраслей промышленности**

- Дайте определения понятий в области физической культуры: физическая культура, физическое воспитание, физическое развитие, физическое совершенство.
- В чем заключаются цель и задачи физического воспитания в вузе?
- Опишите специфические функции физической культуры.
- В чем проявляются социальная роль и значение спорта?
- Перечислите и охарактеризуйте этапы становления физической культуры личности студента.
- Каковы методические принципы физического воспитания? В чем их сущность и значение?
- Объясните принципиальное отличие понятия «спорт» от других видов занятий физическими упражнениями.
- Проанализируйте понятия, цель, задачи и особенности массового спорта, спорта высших достижений; студенческого спорта.

### **Тема 2. Социально-биологические основы физической культуры**

- Опишите организм человека, исходя из понимания того, что он является саморазвивающейся и саморегулируемой системой.
- Что такое структурная единица живого организма?
- Перечислите и опишите виды тканей организма.
- Каковы функциональные показатели дыхательной системы?
- Охарактеризуйте показатели деятельности сердечно-сосудистой системы.
- Какие изменения в системах крови и кровообращения возможны при мышечной работе?
- Нервная система и ее основные структурные элементы.
- Какие факторы способствуют устойчивости организма к воздействию неблагоприятных факторов?

### **Тема 3. Основы здорового образа и стиля жизни в условиях обучения в вузах технического профиля**

- Охарактеризуйте понятие «здоровье» и его основные компоненты.
- Какие факторы определяют здоровье человека?
- Дайте описание элементов, составляющих образ жизни.
- Как разумно и грамотно чередовать труд и отдых, для поддержания ЗОЖ.
- Как организовать и реализовывать рациональное питание?
- Опишите механизмы отказа от вредных привычек.

- Охарактеризуйте процесс соблюдения правил личной и общественной гигиены.
- Как организовать мероприятия по закаливанию организма?

#### **Тема 4. Особенности занятий избранным видом спорта или оздоровительной системой физических упражнений**

- Каковы мотивация и направленность самостоятельных занятий?
- Опишите утреннюю гигиеническую гимнастику.
- Значение и характеристика физических упражнений в течение учебного дня: физкультминутки, физкультпаузы.
- Назовите структуру самостоятельных тренировочных занятий, а также требования к их организации и проведению.
- Чем мотивирован выбор видов спорта или систем физических упражнений?
- Как осуществлять самостоятельные занятия оздоровительным бегом?
- Как организовать самостоятельные занятия атлетической гимнастикой?
- В чем состоят особенности самостоятельных занятий женщин?

#### **Тема 5. Профессионально-прикладная физическая подготовка студентов (ППФП) для будущих специалистов горнодобывающих и обрабатывающих отраслей промышленности. ППФП студентов для избранной специальности**

- Производственная физическая культура, ее цели и задачи.
- Методические основы производственной физической культуры.
- Производственная физическая культура в рабочее время.
- Физическая культура и спорт в свободное время.
- Профилактика профессиональных заболеваний и травматизма средствами физической культуры.
- Понятие ППФП, её цель, задачи. Прикладные знания, умения и навыки.
- Прикладные психические качества.
- Прикладные специальные качества.
- Факторы, определяющие содержание ППФП: формы труда, условия труда.
- Факторы, определяющие содержание ППФП: характер труда, режим труда и отдыха.
- Дополнительные факторы, определяющие содержание ППФП.
- Средства ППФП.
- Организация и формы ППФП в вузе.

## 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 рамки 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 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 ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*Физическая культура и спорт*» 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 «*Физическая культура и спорт*».

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



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

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

### ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Направление подготовки  
**38.03.01 Экономика**

Профиль  
**Экономика и управление на предприятиях (организациях)**

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрены на заседании кафедры

Физической культуры

*(название кафедры)*

Зав. кафедрой

*(подпись)*

Шулиманов Д.Ф.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 1 от 29.09.2021

*(Дата)*

Рассмотрены методической комиссией

Инженерно-экономического факультета

*(название факультета)*

Председатель

*(подпись)*

Мочалова Л.А.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 1 от 29.09.2021

*(Дата)*

Екатеринбург

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические рекомендации необходимы для студентов бакалавриата по направлению подготовки 38.03.01 – «Экономика» при организации самостоятельной работы по дисциплине «Элективные курсы по физической культуре и спорту» в рамках подготовки и защиты контрольной работы.

В методических рекомендациях содержатся особенности организации подготовки контрольной работы в виде реферата, требования к его оформлению, а также порядок защиты и критерии оценки.

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РЕФЕРАТА)

#### Общая характеристика реферата

Написание реферата практикуется в учебном процессе в целях приобретения студентом необходимой профессиональной подготовки, развития умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов и т. п. С помощью реферата студент может глубже постигать наиболее сложные проблемы дисциплины, учиться лаконично излагать свои мысли, правильно оформлять работу, докладывать результаты своего труда.

В «Толковом словаре русского языка» дается следующее определение: **«реферат** – краткое изложение содержания книги, статьи, исследования, а также доклад с таким изложением».

Различают два вида реферата:

- *репродуктивный* – воспроизводит содержание первичного текста в форме реферата-конспекта или реферата-резюме. В реферате-конспекте содержится фактическая информация в обобщённом виде, иллюстрированный материал, различные сведения о методах исследования, результатах исследования и возможностях их применения. В реферате-резюме содержатся только основные положения данной темы;

- *продуктивный* – содержит творческое или критическое осмысление реферируемого источника и оформляются в форме реферата-доклада или реферата-обзора. В реферате-докладе, наряду с анализом информации первоисточника, дается объективная оценка проблемы, и он имеет развёрнутый характер. Реферат-обзор составляется на основе нескольких источников и в нем сопоставляются различные точки зрения по исследуемой проблеме.

Студент для изложения материала должен выбрать продуктивный вид реферата.

#### Выбор темы реферата

Студенту предоставляется право выбора темы реферата из рекомендованного преподавателем дисциплины списка. Выбор темы должен быть осознанным и обоснованным с точки зрения познавательных интересов автора, а также полноты освещения темы в имеющейся научной литературе.

Если интересующая тема отсутствует в рекомендованном списке, то по согласованию с преподавателем студенту предоставляется право самостоятельно предложить тему реферата, раскрывающую содержание изучаемой дисциплины. Тема не должна быть слишком общей и глобальной, так как небольшой объем работы (до 20-25 страниц без учёта приложений) не позволит раскрыть ее.

Начинать знакомство с избранной темой лучше всего с чтения обобщающих работ по данной проблеме, постепенно переходя к узкоспециальной литературе. При этом

следует сразу же составлять библиографические выходные данные используемых источников (автор, название, место и год издания, издательство, страницы).

На основе анализа прочитанного и просмотренного материала по данной теме следует составить тезисы по основным смысловым блокам, с пометками, собственными суждениями и оценками. Предварительно подобранный в литературных источниках материал может превышать необходимый объем реферата.

### **Формулирование цели и составление плана реферата**

Выбрав тему реферата и изучив литературу, необходимо сформулировать цель работы и составить план реферата.

**Цель** – это осознаваемый образ предвосхищаемого результата. Возможно, формулировка цели в ходе работы будет меняться, но изначально следует ее обозначить, чтобы ориентироваться на нее в ходе исследования. Формулирование цели реферата рекомендуется осуществлять при помощи глаголов: исследовать, изучить, проанализировать, систематизировать, осветить, изложить (представления, сведения), создать, рассмотреть, обобщить и т. д.

Определяясь с целью дальнейшей работы, параллельно необходимо думать над составлением плана, при этом четко соотносить цель и план работы. Правильно построенный план помогает систематизировать материал и обеспечить последовательность его изложения.

Наиболее традиционной является следующая **структура реферата**:

Титульный лист.

Оглавление (план, содержание).

Введение.

1. (полное наименование главы).

1.1. (полное название параграфа, пункта);

1.2. (полное название параграфа, пункта).

2. (полное наименование главы).

2.1. (полное название параграфа, пункта);

2.2. (полное название параграфа, пункта).

Заключение (выводы).

Библиография (список использованной литературы).

Приложения (по усмотрению автора).

**Титульный лист** оформляется в соответствии с Приложением.

**Оглавление** (план, содержание) включает названия всех глав и параграфов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие их начало в тексте реферата.

**Введение.** В этой части реферата обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цель и задачи работы, указываются используемые материалы и дается их краткая характеристика с точки зрения полноты освещения избранной темы. Объем введения не должен превышать 1-1,5 страницы.

**Основная часть** реферата может быть представлена двумя или тремя главами, которые могут включать 2-3 параграфа (пункта).

Здесь достаточно полно и логично излагаются главные положения в используемых источниках, раскрываются все пункты плана с сохранением связи между ними и последовательности перехода от одного к другому.

Автор должен следить за тем, чтобы изложение материала точно соответствовало цели и названию главы (параграфа). Материал в реферате рекомендуется излагать своими словами, не допуская дословного переписывания из литературных источников. В тексте обязательны ссылки на первоисточники, т. е. на тех авторов, у которых взят данный материал в виде мысли, идеи, вывода, числовых данных, таблиц, графиков, иллюстраций и пр.

Работа должна быть написана грамотным литературным языком. Сокращение слов в тексте не допускается, кроме общеизвестных сокращений и аббревиатуры. Каждый раздел рекомендуется заканчивать кратким выводом.

**Заключение** (выводы). В этой части обобщается изложенный в основной части материал, формулируются общие выводы, указывается, что нового лично для себя вынес автор реферата из работы над ним. Выводы делаются с учетом опубликованных в литературе различных точек зрения по проблеме, рассматриваемой в реферате, сопоставления их и личного мнения автора реферата. Заключение по объему не должно превышать 1,5-2 страниц.

**Библиография** (список использованной литературы) – здесь указывается реально использованная для написания реферата литература, периодические издания и электронные источники информации. Список составляется согласно правилам библиографического описания.

**Приложения** могут включать графики, таблицы, расчеты.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕФЕРАТА**

### **Общие требования к оформлению реферата**

Рефераты, как правило, требуют изучения и анализа значительного объема статистического материала, формул, графиков и т. п. В силу этого особое значение приобретает правильное оформление результатов проделанной работы.

Текст реферата должен быть подготовлен в печатном виде. Исправления и пометки не допускаются. Текст работы оформляется на листах формата А4, на одной стороне листа, с полями: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 15 мм и нижнее – 25 мм. При компьютерном наборе шрифт должен быть таким: тип шрифта Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5.

Рекомендуемый объем реферата – не менее 20 страниц. Титульный лист реферата оформляется студентом по образцу, данному в приложении 1.

Текст реферата должен быть разбит на разделы: главы, параграфы и т. д. Очередной раздел нужно начинать с нового листа.

Все страницы реферата должны быть пронумерованы. Номер страницы ставится снизу страницы, по центру. Первой страницей является титульный лист, но на ней номер страницы не ставится.

### **Таблицы**

Таблицы по содержанию делятся на аналитические и неаналитические. Аналитические таблицы являются результатом обработки и анализа цифровых показателей. Как правило, после таких таблиц делается обобщение, которое вводится в текст словами: «таблица позволяет сделать вывод о том, что...», «таблица позволяет заключить, что...» и т. п.

В неаналитических таблицах обычно помещаются необработанные статистические данные, необходимые лишь для информации и констатации фактов.

Таблицы размещают после первого упоминания о них в тексте таким образом, чтобы их можно было читать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке.

Каждая таблица должна иметь нумерационный и тематический заголовок. Тематический заголовок располагается по центру таблицы, после нумерационного, размещённого в правой стороне листа и включающего надпись «Таблица» с указанием арабскими цифрами номера таблицы. Нумерация таблиц сквозная в пределах каждой главы. Номер таблицы состоит из двух цифр: первая указывает на номер главы, вторая – на номер таблицы в главе по порядку (например, «Таблица 2.2» – это значит, что представленная таблица вторая во второй главе).

Цифры в графах таблиц должны проставляться так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим. В одной графе количество десятичных знаков должно быть одинаковым. Если данные отсутствуют, то в графах ставят знак тире. Округление числовых значений величин до первого, второго и т. д. десятичного знака для различных значений одного и того же наименования показателя должно быть одинаковым.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу, при этом заголовок таблицы помещают только над ее первой частью, а над переносимой частью пишут «Продолжение таблицы» или «Окончание таблицы». Если в работе несколько таблиц, то после слов «Продолжение» или «Окончание» указывают номер таблицы, а само слово «таблица» пишут сокращенно, например, «Продолжение табл. 1.1», «Окончание табл. 1.1».

На все таблицы в тексте реферата должны быть даны ссылки с указанием их порядкового номера, например, «...в табл. 2.2».

### Формулы

Формулы – это комбинации математических знаков, выражающие какие-либо предложения.

Формулы, приводимые в реферате, должны быть наглядными, а обозначения, применяемые в них, соответствовать стандартам.

Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой, в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента дается с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы и уравнения следует выделять из текста свободными строками. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знака (+), минуса (–), умножения (x) и деления (:).

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах всей курсовой работы (реферата) или главы. В пределах реферата используют нумерацию формул одинарную, в пределах главы – двойную. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

В тексте ссылки на формулы приводятся с указанием их порядковых номеров, например, «...в формуле (2.2)» (второй формуле второй главы).

### Иллюстрации

Иллюстрации позволяют наглядно представить явление или предмет такими, какими мы их зрительно воспринимаем, но без лишних деталей и подробностей.

Основными видами иллюстраций являются схемы, диаграммы и графики.

**Схема** – это изображение, передающее обычно с помощью условных обозначений и без соблюдения масштаба основную идею какого-либо устройства, предмета, сооружения или процесса и показывающее взаимосвязь их главных элементов.

**Диаграмма** – один из способов изображения зависимости между величинами. Наибольшее распространение получили линейные, столбиковые и секторные диаграммы.

Для построения линейных диаграмм используется координатное поле. По горизонтальной оси в изображенном масштабе откладывается время или факториальные признаки, на вертикальной – показатели на определенный момент (период) времени или размеры результативного независимого признака. Вершины ординат соединяются отрезками – в результате получается ломаная линия.

На столбиковых диаграммах данные изображаются в виде прямоугольников (столбиков) одинаковой ширины, расположенных вертикально или горизонтально. Длина (высота) прямоугольников пропорциональна изображенным ими величинам.

Секторная диаграмма представляет собой круг, разделенный на секторы, величины которых пропорциональны величинам частей изображаемого явления.

**График** – это результат обработки числовых данных. Он представляет собой условные изображения величин и их соотношений через геометрические фигуры, точки и линии.

Количество иллюстраций в работе должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста.

Иллюстрации обозначаются словом «Рис.» и располагаются после первой ссылки на них в тексте так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации должны иметь номер и наименование, расположенные по центру, под ней. Иллюстрации нумеруются в пределах главы арабскими цифрами, например, «Рис. 1.1» (первый рисунок первой главы). Ссылки на иллюстрации в тексте реферата приводят с указанием их порядкового номера, например, «...на рис. 1.1».

При необходимости иллюстрации снабжаются поясняющими данными (подрисуночный текст).

### **Приложения**

Приложение – это часть основного текста, которая имеет дополнительное (обычно справочное) значение, но, тем не менее, необходима для более полного освещения темы. По форме они могут представлять собой текст, таблицы, графики, карты. В приложении помещают вспомогательные материалы по рассматриваемой теме: инструкции, методики, положения, результаты промежуточных расчетов, типовые проекты, имеющие значительный объем, затрудняющий чтение и целостное восприятие текста. В этом случае в тексте приводятся основные выводы (результаты) и делается ссылка на приложение, содержащее соответствующую информацию. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы. В правом верхнем углу листа пишут слово «Приложение» и указывают номер приложения. Если в реферате больше одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами, например, «Приложение 1», «Приложение 2» и т. д.

Каждое приложение должно иметь заголовок, который помещают ниже слова «Приложение» над текстом приложения, по центру.

При ссылке на приложение в тексте реферата пишут сокращенно строчными буквами «прил.» и указывают номер приложения, например, «...в прил. 1».

Приложения оформляются как продолжение текстовой части реферата со сквозной нумерацией листов. Число страниц в приложении не лимитируется и не включается в общий объем страниц реферата.

### **Библиографический список**

Библиографический список должен содержать перечень и описание только тех источников, которые были использованы при написании реферата.

В библиографическом списке должны быть представлены монографические издания отечественных и зарубежных авторов, материалы профессиональной периодической печати (экономических журналов, газет и еженедельников), законодательные и др. нормативно-правовые акты. При составлении списка необходимо обратить внимание на достижение оптимального соотношения между монографическими изданиями, характеризующими глубину теоретической подготовки автора, и периодикой, демонстрирующей владение современными экономическими данными.

Наиболее распространенным способом расположения наименований литературных источников является алфавитный. Работы одного автора перечисляются в алфавитном порядке их названий. Исследования на иностранных языках помещаются в порядке латинского алфавита после исследований на русском языке.

Ниже приводятся примеры библиографических описаний использованных источников.



### **Статья одного, двух или трех авторов из журнала**

*Зотова Л. А., Еременко О. В.* Инновации как объект государственного регулирования // *Экономист*. 2010. № 7. С. 17–19.

### **Статья из журнала, написанная более чем тремя авторами**

*Валютный курс и экономический рост / С. Ф. Алексахенко, А. А. Клепач, О. Ю. Осипова [и др.]* // *Вопросы экономики*. 2010. № 8. С. 18–22.

### **Книга, написанная одним, двумя или тремя авторами**

*Олейник А. Н.* Институциональная экономика: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2011. 416 с.

### **Книга, написанная более чем тремя авторами**

*Экономическая теория: учебник / В. Д. Камаев [и др.]*. М.: ВЛАДОС, 2011. 143 с.

### **Сборники**

*Актуальные проблемы экономики и управления: сборник научных статей.* Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. 146 с.

### **Статья из сборника**

*Данилов А. Г.* Система ценообразования промышленного предприятия // *Актуальные проблемы экономики и управления: сб. научных статей.* Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. С. 107–113.

### **Статья из газеты**

*Крашаков А. С.* Будет ли обвал рубля // *Аргументы и факты*. 2011. № 9. С. 3.

## **Библиографические ссылки**

Библиографические ссылки требуется приводить при цитировании, заимствовании материалов из других источников, упоминании или анализе работ того или иного автора, а также при необходимости адресовать читателя к трудам, в которых рассматривался данный вопрос.

Ссылки должны быть затекстовыми, с указанием номера соответствующего источника (на который автор ссылается в работе) в соответствии с библиографическим списком и соответствующей страницы.

### **Пример оформления затекстовой ссылки**

Ссылка в тексте: «Под трансакцией понимается обмен какими-либо благами, услугами или информацией между двумя агентами» [10, С. 176].

В списке использованных источников:

10. *Сухарев О. С.* Институциональная экономика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / О. С. Сухарев. М.: Издательство Юрайт, 2016. 501 с.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ РЕФЕРАТА**

Необходимо заранее подготовить тезисы выступления (план-конспект).

Порядок защиты реферата.

1. Краткое сообщение, характеризующее цель и задачи работы, ее актуальность, полученные результаты, вывод и предложения.

2. Ответы студента на вопросы преподавателя.

3. Отзыв руководителя-консультанта о ходе выполнения работы.

### **Советы студенту:**

• Готовясь к защите реферата, вы должны вспомнить материал максимально подробно, и это должно найти отражение в схеме вашего ответа. Но тут же необходимо выделить главное, что наиболее важно для понимания материала в целом, иначе вы

сможете проговорить все 15-20 минут и не раскрыть существа вопроса. Особенно строго следует отбирать примеры и иллюстрации.

- Вступление должно быть очень кратким – 1-2 фразы (если вы хотите подчеркнуть при этом важность и сложность данного вопроса, то не говорите, что он сложен и важен, а покажите его сложность и важность).

- Целесообразнее вначале показать свою схему раскрытия вопроса, а уж потом ее детализировать.

- Рассказывать будет легче, если вы представите себе, что объясняете материал очень способному и хорошо подготовленному человеку, который не знает именно этого раздела, и что при этом вам обязательно нужно доказать важность данного раздела и заинтересовать в его освоении.

- Строго следите за точностью своих выражений и правильностью употребления терминов.

- Не пытайтесь рассказать побольше за счет ускорения темпа, но и не мямлите.

- Не демонстрируйте излишнего волнения и не напрашивайтесь на сочувствие.

- Будьте особенно внимательны ко всем вопросам преподавателя, к малейшим его замечаниям. И уж ни в коем случае его не перебивайте!

- Не бойтесь дополнительных вопросов – чаще всего преподаватель использует их как один из способов помочь вам или сэкономить время. Если вас прервали, а при оценке ставят в вину пропуск важной части материала, не возмущайтесь, а покажите план своего ответа, где эта часть стоит несколько позже того, на чем вы были прерваны.

- Прежде чем отвечать на дополнительный вопрос, необходимо сначала правильно его понять. Для этого нужно хотя бы немного подумать, иногда переспросить, уточнить: правильно ли вы поняли поставленный вопрос. И при ответе следует соблюдать тот же принцип экономности мышления, а не высказывать без разбора все, что вы можете сказать.

- Будьте доброжелательны и тактичны, даже если к ответу вы не готовы (это вина не преподавателя, а ваша).

## **ТЕМЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РЕФЕРАТА)**

Студенты должны выполнить в течении освоения курса дисциплины 2 контрольные работы.

### *Темы контрольных работ (рефератов) для 2 семестра*

1. Врачебный контроль как обязательная процедура для занимающихся физической культурой.

2. Социальная роль и значение спорта.

3. Сущность и значение принципов физического воспитания.

4. Цель, задачи и особенности массового спорта, спорта высших достижений; студенческого спорта.

5. Характеристика этапов становления физической культуры личности студента.

6. Организм человека, как саморазвивающаяся и саморегулируемая система.

7. Виды тканей организма.

8. Характеристика элементов, составляющих образ жизни человека.

9. Процесс организации и реализации рационального питания.

10. Характеристика механизмов отказа от вредных привычек.

11. Процесс соблюдения правил личной и общественной гигиены.

12. Мотивация и направленность самостоятельных занятий.

13. Значение и характеристика физических упражнений в течение учебного дня: физкультминутки, физкультпаузы.

14. Структура самостоятельных тренировочных занятий, требования к их организации и проведению.

15. Самоконтроль — необходимая форма контроля человека за физическим состоянием.

16. Реабилитационная физическая культура: сущность, виды, характеристика.

#### *Темы контрольных работ (рефератов) для 4 семестра*

1. Бег как самое эффективное средство восстановления и повышения работоспособности.

2. Понятие профессионально-прикладной физической подготовки, её цель, задачи. Прикладные знания, умения и навыки.

3. Прикладные психические качества. Прикладные специальные качества.

4. Организация и формы профессионально-прикладной физической подготовки в вузе.

5. Роль физической культуры в профессиональной деятельности бакалавра.

6. Производственная физическая культура, её цели и задачи. Методические основы производственной физической культуры.

7. Профилактика профессиональных заболеваний и травматизма средствами физической культуры.

8. Работоспособность: понятие, факторы, периоды. Физические упражнения в течение учебного дня для поддержания работоспособности.

9. Методы развития физических качеств: равномерный, повторный, интервальный.

10. Метод круговой тренировки, игровой и соревновательный методы.

11. Сила как физическое качество, общая характеристика силовых упражнений. Методы развития силы.

12. Средства физического воспитания.

13. Влияние климатогеографического фактора на здоровье и работоспособность человека.

14. Материальные и духовные ценности физической культуры.

15. Взаимосвязь физической и умственной деятельности человека.

16. Адаптивная физическая культура.

17. Методы физического воспитания.

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РЕФЕРАТА)**

#### **Проверяемая компетенция: УК-7**

##### *Знать:*

- основы физической культуры и здорового образа жизни;  
- особенности использования средств физической культуры для оптимизации работоспособности;

##### *Уметь:*

- использовать физические упражнения для достижения жизненных и профессиональных целей;

*Владеть:*

- системой практических умений и навыков, обеспечивающих сохранение и укрепление здоровья, развитие и совершенствование психофизических способностей и качеств (с выполнением установленных нормативов по общефизической подготовке).

**Критерии оценивания:**

достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в реферате проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);

уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований);

личные заслуги автора реферата (новые знания, которые получены помимо основной образовательной программы, новизна материала и рассмотренной проблемы, научное значение исследуемого вопроса);

культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора);

культура оформления материалов работы (соответствие реферата всем стандартным требованиям);

знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;

степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всестороннее раскрытие темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению);

качество и ценность полученных результатов (степень завершенности реферативного исследования, спорность или однозначность выводов);

использование профессиональной терминологии;

использование литературных источников.

**Образец оформления титульного листа контрольной работы (реферата)**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»

Горно-технологический факультет

Кафедра физической культуры

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА (РЕФЕРАТ)**

по дисциплине  
«Элективные курсы по физической культуре и спорту»

на тему:

**МОТИВАЦИЯ И НАПРАВЛЕННОСТЬ  
САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЙ**

**Руководитель:**  
Шулиманов Д.Ф.  
**Студент гр. Э-21**  
Артёмова Елена Юрьевна

Екатеринбург – 2021

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Направление подготовки  
**38.03.01 Экономика**

Профиль  
**Экономика и управление на предприятиях (организациях)**

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры

(название кафедры)

Зав. кафедрой

(подпись)

Шулиманов Д.Ф.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 29.09.2021

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

Инженерно-экономического факультета

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Мочалова Л.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 29.09.2021

(Дата)

Екатеринбург

## 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 определяется 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.

Общие 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 выдохе)

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» голени 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 ( $5-7^\circ$ ). 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  $2-3^\circ$ : 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  $50-55^\circ$ . 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 слабой 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 полукрытый 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, становится 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 согреть 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, предшествующей 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: вработывание, повышенная работоспособность, снижение работоспособности. В течение недели те же фазы распределяются следующим образом: понедельник, вторник – вработывание; 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 вработывания 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»

  
С.А. Упоров  
ПРОВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебно-методическому  
комплексу

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

### ОСНОВЫ ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ И ФИНАНСОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ

Направление подготовки  
**38.03.01 Экономика**

Профиль  
**Экономика и управление на предприятиях (организациях)**

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Слукин С.В., к.ф.н.

Одобрены на заседании кафедры

Антикризисного управления и оценочной  
деятельности

(название кафедры)

Зав. кафедрой



(подпись)

Мальцев Н.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 28.09.2021 г.

(Дата)

Рассмотрены методической комиссией

Инженерно-экономического факультета

(название факультета)

Председатель



(подпись)

Мочалова Л.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 29.09.2021

(Дата)

Екатеринбург

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические рекомендации необходимы для студентов бакалавриата по направлению подготовки 38.03.01 – «Экономика» при организации самостоятельной работы по дисциплине «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» в рамках подготовки и защиты контрольной работы.

В методических рекомендациях содержатся особенности организации подготовки контрольной работы в виде реферата, требования к его оформлению, а также порядок защиты и критерии оценки.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РЕФЕРАТА)

### Общая характеристика реферата

Написание реферата практикуется в учебном процессе в целях приобретения студентом необходимой профессиональной подготовки, развития умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов и т. п. С помощью реферата студент может глубже постигать наиболее сложные проблемы дисциплины, учиться лаконично излагать свои мысли, правильно оформлять работу, докладывать результаты своего труда.

В «Толковом словаре русского языка» дается следующее определение: «**реферат** – краткое изложение содержания книги, статьи, исследования, а также доклад с таким изложением».

Различают два вида реферата:

- *репродуктивный* – воспроизводит содержание первичного текста в форме реферата-конспекта или реферата-резюме. В реферате-конспекте содержится фактическая информация в обобщённом виде, иллюстрированный материал, различные сведения о методах исследования, результатах исследования и возможностях их применения. В реферате-резюме содержатся только основные положения данной темы;

- *продуктивный* – содержит творческое или критическое осмысление реферируемого источника и оформляются в форме реферата-доклада или реферата-обзора. В реферате-докладе, наряду с анализом информации первоисточника, дается объективная оценка проблемы, и он имеет развёрнутый характер. Реферат-обзор составляется на основе нескольких источников и в нем сопоставляются различные точки зрения по исследуемой проблеме.

Студент для изложения материала должен выбрать продуктивный вид реферата.

### Выбор темы реферата

Выбор темы работы осуществляется по последней цифре зачетной книжки студента. Она должна совпадать с последней цифрой номера темы. Например, студент, номер зачетной книжки которого заканчивается на цифру 2 вправе выбрать тему 2, 12 или 22.

Начинать знакомство с избранной темой лучше всего с чтения обобщающих работ по данной проблеме, постепенно переходя к узкоспециальной литературе. При этом следует сразу же составлять библиографические выходные данные используемых источников (автор, название, место и год издания, издательство, страницы).

На основе анализа прочитанного и просмотренного материала по данной теме следует составить тезисы по основным смысловым блокам, с пометками, собственными суждениями и оценками. Предварительно подобранный в литературных источниках материал может превышать необходимый объем реферата.

### Формулирование цели и составление плана реферата



Выбрав тему реферата и изучив литературу, необходимо сформулировать цель работы и составить план реферата.

**Цель** – это осознаваемый образ предвосхищаемого результата. Возможно, формулировка цели в ходе работы будет меняться, но изначально следует ее обозначить, чтобы ориентироваться на нее в ходе исследования. Формулирование цели реферата рекомендуется осуществлять при помощи глаголов: исследовать, изучить, проанализировать, систематизировать, осветить, изложить (представления, сведения), создать, рассмотреть, обобщить и т. д.

Определяясь с целью дальнейшей работы, параллельно необходимо думать над составлением плана, при этом четко соотносить цель и план работы. Правильно построенный план помогает систематизировать материал и обеспечить последовательность его изложения.

Наиболее традиционной является следующая **структура реферата**:

Титульный лист.

Оглавление (план, содержание).

Введение.

1. (полное наименование главы).

1.1. (полное название параграфа, пункта);

1.2. (полное название параграфа, пункта).

2. (полное наименование главы).

2.1. (полное название параграфа, пункта);

2.2. (полное название параграфа, пункта).

} Основная часть

Заключение (выводы).

Библиография (список использованной литературы).

Приложения (по усмотрению автора).

**Титульный лист** оформляется в соответствии с Приложением.

**Оглавление** (план, содержание) включает названия всех глав и параграфов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие их начало в тексте реферата.

**Введение.** В этой части реферата обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цель и задачи работы, указываются используемые материалы и дается их краткая характеристика с точки зрения полноты освещения избранной темы. Объем введения не должен превышать 1-1,5 страницы.

**Основная часть** реферата может быть представлена двумя или тремя главами, которые могут включать 2-3 параграфа (пункта).

Здесь достаточно полно и логично излагаются главные положения в используемых источниках, раскрываются все пункты плана с сохранением связи между ними и последовательности перехода от одного к другому.

Автор должен следить за тем, чтобы изложение материала точно соответствовало цели и названию главы (параграфа). Материал в реферате рекомендуется излагать своими словами, не допуская дословного переписывания из литературных источников. В тексте обязательны ссылки на первоисточники, т. е. на тех авторов, у которых взят данный материал в виде мысли, идеи, вывода, числовых данных, таблиц, графиков, иллюстраций и пр.

Работа должна быть написана грамотным литературным языком. Сокращение слов в тексте не допускается, кроме общеизвестных сокращений и аббревиатуры. Каждый раздел рекомендуется заканчивать кратким выводом.

**Заключение** (выводы). В этой части обобщается изложенный в основной части материал, формулируются общие выводы, указывается, что нового лично для себя вынес автор реферата из работы над ним. Выводы делаются с учетом опубликованных в литературе различных точек зрения по проблеме, рассматриваемой в реферате, сопоставления их и личного мнения автора реферата. Заключение по объему не должно превышать 1,5-2 страниц.

**Библиография** (список использованной литературы) – здесь указывается реально использованная для написания реферата литература, периодические издания и электронные источники информации. Список составляется согласно правилам библиографического описания.

**Приложения** могут включать графики, таблицы, расчеты.

*Таким образом*, структурно контрольная работа должна обязательно включать надлежащим образом оформленный титульный лист, оглавление (содержание), список сокращений (при их действительном использовании), развернутый ответ на поставленный теоретический вопрос, содержащий собственные выводы студента по поставленной проблеме, а также список фактически использованных в работе нормативных правовых актов, материалов судебной практики и специальной литературы.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕФЕРАТА**

### **Общие требования к оформлению реферата**

Рефераты, как правило, требуют изучения и анализа значительного объема статистического материала, формул, графиков и т. п. В силу этого особое значение приобретает правильное оформление результатов проделанной работы.

Текст реферата должен быть подготовлен в печатном виде. Исправления и пометки не допускаются. Текст работы оформляется на листах формата А4, на одной стороне листа, с полями: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 15 мм и нижнее – 25 мм. При компьютерном наборе шрифт должен быть таким: тип шрифта Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5.

Рекомендуемый объем реферата – не менее 10 страниц и не более 15 страниц. Титульный лист реферата оформляется студентом по образцу, данному в приложении 1.

Текст реферата должен быть разбит на разделы: главы, параграфы и т. д. Очередной раздел нужно начинать с нового листа.

Все страницы реферата должны быть пронумерованы. Номер страницы ставится снизу страницы, по центру. Первой страницей является титульный лист, но на ней номер страницы не ставится.

### **Таблицы**

Таблицы по содержанию делятся на аналитические и неаналитические. Аналитические таблицы являются результатом обработки и анализа цифровых показателей. Как правило, после таких таблиц делается обобщение, которое вводится в текст словами: «таблица позволяет сделать вывод о том, что...», «таблица позволяет заключить, что...» и т. п.

В неаналитических таблицах обычно помещаются необработанные статистические данные, необходимые лишь для информации и констатации фактов.

Таблицы размещают после первого упоминания о них в тексте таким образом, чтобы их можно было читать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке.

Каждая таблица должна иметь нумерационный и тематический заголовок. Тематический заголовок располагается по центру таблицы, после нумерационного, размещённого в правой стороне листа и включающего надпись «Таблица» с указанием арабскими цифрами номера таблицы. Нумерация таблиц сквозная в пределах каждой главы. Номер таблицы состоит из двух цифр: первая указывает на номер главы, вторая – на номер таблицы в главе по порядку (например, «Таблица 2.2» – это значит, что представленная таблица вторая во второй главе).

Цифры в графах таблиц должны проставляться так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим. В одной графе количество десятичных знаков должно быть одинаковым. Если данные отсутствуют, то в графах ставят знак тире.

Округление числовых значений величин до первого, второго и т. д. десятичного знака для различных значений одного и того же наименования показателя должно быть одинаковым.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу, при этом заголовки таблицы помещают только над ее первой частью, а над переносимой частью пишут «Продолжение таблицы» или «Окончание таблицы». Если в работе несколько таблиц, то после слов «Продолжение» или «Окончание» указывают номер таблицы, а само слово «таблица» пишут сокращенно, например, «Продолжение табл. 1.1», «Окончание табл. 1.1».

На все таблицы в тексте реферата должны быть даны ссылки с указанием их порядкового номера, например, «...в табл. 2.2».

### Формулы

Формулы – это комбинации математических знаков, выражающие какие-либо предложения.

Формулы, приводимые в реферате, должны быть наглядными, а обозначения, применяемые в них, соответствовать стандартам.

Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой, в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента дается с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы и уравнения следует выделять из текста свободными строками. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знака (+), минус (-), умножения (x) и деления (:).

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах всей курсовой работы (реферата) или главы. В пределах реферата используют нумерацию формул одинарную, в пределах главы – двойную. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

В тексте ссылки на формулы приводятся с указанием их порядковых номеров, например: «...в формуле (2.2)» (второй формуле второй главы).

### Иллюстрации

Иллюстрации позволяют наглядно представить явление или предмет такими, какими мы их зрительно воспринимаем, но без лишних деталей и подробностей.

Основными видами иллюстраций являются схемы, диаграммы и графики.

**Схема** – это изображение, передающее обычно с помощью условных обозначений и без соблюдения масштаба основную идею какого-либо устройства, предмета, сооружения или процесса и показывающее взаимосвязь их главных элементов.

**Диаграмма** – один из способов изображения зависимости между величинами. Наибольшее распространение получили линейные, столбиковые и секторные диаграммы.

Для построения линейных диаграмм используется координатное поле. По горизонтальной оси в изображенном масштабе откладывается время или факториальные признаки, на вертикальной – показатели на определенный момент (период) времени или размеры результативного независимого признака. Вершины ординат соединяются отрезками – в результате получается ломаная линия.

На столбиковых диаграммах данные изображаются в виде прямоугольников (столбиков) одинаковой ширины, расположенных вертикально или горизонтально. Длина (высота) прямоугольников пропорциональна изображенным ими величинам.

Секторная диаграмма представляет собой круг, разделенный на секторы, величины которых пропорциональны величинам частей изображаемого явления.

**График** – это результат обработки числовых данных. Он представляет собой условные изображения величин и их соотношений через геометрические фигуры, точки и линии.

Количество иллюстраций в работе должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста.

Иллюстрации обозначаются словом «Рис.» и располагаются после первой ссылки на них в тексте так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации должны иметь номер и наименование, расположенные по центру, под ней. Иллюстрации нумеруются в пределах главы арабскими цифрами, например: «Рис. 1.1» (первый рисунок первой главы). Ссылки на иллюстрации в тексте реферата приводят с указанием их порядкового номера, например: «...на рис. 1.1».

При необходимости иллюстрации снабжаются поясняющими данными (подрисовочный текст).

### **Приложения**

Приложение – это часть основного текста, которая имеет дополнительное (обычно справочное) значение, но, тем не менее, необходима для более полного освещения темы. По форме они могут представлять собой текст, таблицы, графики, карты. В приложении помещают вспомогательные материалы по рассматриваемой теме: инструкции, методики, положения, результаты промежуточных расчетов, типовые проекты, имеющие значительный объем, затрудняющий чтение и целостное восприятие текста. В этом случае в тексте приводятся основные выводы (результаты) и делается ссылка на приложение, содержащее соответствующую информацию. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы. В правом верхнем углу листа пишут слово «Приложение» и указывают номер приложения. Если в реферате больше одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами, например: «Приложение 1», «Приложение 2» и т. д.

Каждое приложение должно иметь заголовок, который помещают ниже слова «Приложение» над текстом приложения, по центру.

При ссылке на приложение в тексте реферата пишут сокращенно строчными буквами «прил.» и указывают номер приложения, например: «...в прил. 1».

Приложения оформляются как продолжение текстовой части реферата со сквозной нумерацией листов. Число страниц в приложении не лимитируется и не включается в общий объем страниц реферата.

### **Библиографический список**

Библиографический список должен содержать перечень и описание только тех источников, которые были использованы при написании реферата.

В библиографическом списке должны быть представлены монографические издания отечественных и зарубежных авторов, материалы профессиональной периодической печати (экономических журналов, газет и еженедельников), законодательные и др. нормативно-правовые акты. При составлении списка необходимо обратить внимание на достижение оптимального соотношения между монографическими изданиями, характеризующими глубину теоретической подготовки автора, и периодикой, демонстрирующей владение современными экономическими данными.

Наиболее распространенным способом расположения наименований литературных источников является алфавитный. Работы одного автора перечисляются в алфавитном порядке их названий. Исследования на иностранных языках помещаются в порядке латинского алфавита после исследований на русском языке.

Ниже приводятся примеры библиографических описаний использованных источников.

#### **Статья одного, двух или трех авторов из журнала**

*Зотова Л. А., Еременко О. В.* Инновации как объект государственного регулирования // *Экономист.* 2010. № 7. С. 17–19.

#### **Статья из журнала, написанная более чем тремя авторами**

*Валютный курс и экономический рост / С. Ф. Алексашенко, А. А. Клепач, О. Ю. Осипова [и др.] // Вопросы экономики. 2010. № 8. С. 18–22.*

**Книга, написанная одним, двумя или тремя авторами**

*Иохин В. Я. Экономическая теория: учебник. М.: Юристъ, 2009. 178 с.*

**Книга, написанная более чем тремя авторами**

*Экономическая теория: учебник / В. Д. Камаев [и др.]. М.: ВЛАДОС, 2011. 143 с.*

**Сборники**

*Актуальные проблемы экономики и управления: сборник научных статей. Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. 146 с.*

**Статья из сборника**

*Данилов А. Г. Система ценообразования промышленного предприятия // Актуальные проблемы экономики и управления: сб. научных статей. Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. С. 107–113.*

**Статья из газеты**

*Крашаков А. С. Будет ли обвал рубля // Аргументы и факты. 2011. № 9. С. 3.*

**Библиографические ссылки**

Библиографические ссылки требуется приводить при цитировании, заимствовании материалов из других источников, упоминании или анализе работ того или иного автора, а также при необходимости адресовать читателя к трудам, в которых рассматривался данный вопрос.

Ссылки должны быть затекстовыми, с указанием номера соответствующего источника (на который автор ссылается в работе) в соответствии с библиографическим списком и соответствующей страницы.

**Пример оформления затекстовой ссылки**

Ссылка в тексте: «При оценке стоимости земли необходимо учесть все возможности ее производственного использования» [17, С. 191].

В списке использованных источников:

17. *Борисов Е. Ф. Основы экономики. М.: Юристъ, 2008. 308 с.*

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ РЕФЕРАТА**

Необходимо заранее подготовить тезисы выступления (план-конспект).

Порядок защиты реферата.

1. Краткое сообщение, характеризующее цель и задачи работы, ее актуальность, полученные результаты, вывод и предложения.

2. Ответы студента на вопросы преподавателя.

3. Отзыв руководителя-консультанта о ходе выполнения работы.

**Советы студенту:**

• Готовясь к защите реферата, вы должны вспомнить материал максимально подробно, и это должно найти отражение в схеме вашего ответа. Но тут же необходимо выделить главное, что наиболее важно для понимания материала в целом, иначе вы сможете проговорить все 15-20 минут и не раскрыть существа вопроса. Особенно строго следует отбирать примеры и иллюстрации.

• Вступление должно быть очень кратким – 1-2 фразы (если вы хотите подчеркнуть при этом важность и сложность данного вопроса, то не говорите, что он сложен и важен, а покажите его сложность и важность).

• Целесообразнее вначале показать свою схему раскрытия вопроса, а уж потом ее детализировать.

- Рассказывать будет легче, если вы представите себе, что объясняете материал очень способному и хорошо подготовленному человеку, который не знает именно этого раздела, и что при этом вам обязательно нужно доказать важность данного раздела и заинтересовать в его освоении.

- Строго следите за точностью своих выражений и правильностью употребления терминов.

- Не пытайтесь рассказать побольше за счет ускорения темпа, но и не мямлите.

- Не демонстрируйте излишнего волнения и не напрашивайтесь на сочувствие.

- Будьте особенно внимательны ко всем вопросам преподавателя, к малейшим его замечаниям. И уж ни в коем случае его не перебивайте!

- Не бойтесь дополнительных вопросов – чаще всего преподаватель использует их как один из способов помочь вам или сэкономить время. Если вас прервали, а при оценке ставят в вину пропуск важной части материала, не возмущайтесь, а покажите план своего ответа, где эта часть стоит несколько позже того, на чем вы были прерваны.

- Прежде чем отвечать на дополнительный вопрос, необходимо сначала правильно его понять. Для этого нужно хотя бы немного подумать, иногда переспросить, уточнить: правильно ли вы поняли поставленный вопрос. И при ответе следует соблюдать тот же принцип экономности мышления, а не высказывать без разбора все, что вы можете сказать.

- Будьте доброжелательны и тактичны, даже если к ответу вы не готовы (это вина не преподавателя, а ваша).

## **ТЕМЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РЕФЕРАТА)**

1. Причины правового нигилизма в современной России.
2. Проблемы систематизации права в России.
3. Эффективная защита права собственности как важнейший фактор развития рыночной экономики.
4. Сущность и развитие категорий собственности.
5. Содержание экономической и юридической категорий собственности.
6. Отношения собственности в природопользовании.
7. Государственное регулирование цен в России.
8. Конституция Российской Федерации - базовый закон государства.
9. Этапы конституционного развития России.
10. Основные принципы конституционного строя РФ.
11. Права и свободы человека и гражданина.
12. Право собственности как основа осуществления предпринимательской деятельности.
13. Посреднические и финансово-кредитные договоры в гражданском праве.
14. Понятие и признаки банкротства.
15. Правовой статус субъектов банкротства.
16. Понятие, юридическое и экономическое и социальное значение труда в рамках реализации трудовых отношений.
17. Деградация института социального партнерства в современной России.
18. Основы пенсионного законодательства и пенсионного обеспечения в России.
19. Источники и основные принципы финансового и налогового права.
20. Финансовая система России.
21. Социально-экономическая сущность и функции финансов.
22. Финансовая система и характеристика ее звеньев.
23. Налоги и налогообложение в рыночной экономике в рыночной экономике.
24. Понятие и основные источники потребительского права.
25. Закон о защите прав потребителя и основные сферы его применения.
26. Права потребителя при приобретении товаров работ и услуг.

27. Реализация права на образование в России.
28. Способы защиты прав и интересов коммерческих организаций и индивидуальных предпринимателей.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РЕФЕРАТА)

### Проверяемые компетенция: УК-10, УК-11:

#### *Знать:*

- финансовую систему общества как пространство, в котором осуществляется экономическая деятельность индивидов, семей, отдельных предприятий и государства;
- сущность финансовых институтов, их роль в социально-экономическом развитии общества;
- значения этических норм и нравственных ценностей в экономической и финансовой деятельности людей;
- способы находить и оценивать финансовую информацию из различных источников, включая Интернет, а также умения анализировать, преобразовывать и использовать полученную информацию для решения практических финансовых задач в реальной жизни;
- общие закономерности возникновения, развития и функционирования государственно-правовых явлений;
- принципы отраслевых юридических наук (конституционного, трудового, гражданского, уголовного, административного права);
- конкретные правовые нормы, локальные нормативные акты;
- основные проявления коррупционного поведения;
- основные правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности;
- основные представления о социальной значимости антикоррупционного законодательства.

#### *Уметь:*

- формировать способности к личностному самоопределению и самореализации в экономической деятельности, в том числе в области предпринимательства;
- развивать навыки использования различных способов сбережения и накопления, понимать последствия, ограничения и риски, существующие для каждого способа;
- ориентироваться в проблемах общего понятия права, норм и системы права, правосознания, правоотношений, реализации права, юридической ответственности, законности;
- анализировать нормативно-правовые акты, кодифицированные источники права;
- определять сущность юридических явлений в контексте социальной жизни;
- оперировать правовой информацией, обрабатывать, систематизировать и применять ее в профессиональной деятельности при возникновении спорной с точки зрения права ситуации;
- выявлять, давать оценку коррупционному поведению и содействовать его пресечению;
- осуществлять оценку проектов нормативных актов, в том числе в целях выявления в них положений, способствующих созданию условий для проявления коррупции.

#### *Владеть:*

- навыками расчета простых и сложных процентных ставок, аннуитетных платежей;
- навыками анализа банковских продуктов для физических лиц с целью выбора наиболее оптимального по заданным критериям;
- навыками финансового планирования прогнозирования будущих денежных потоков в личных целях;

- способами поиска, сбора, обработки, анализа и представления информации в области финансов;
- методами поиска, анализа и использования нормативных и правовых документов в своей профессиональной деятельности;
- навыками самостоятельной работы с юридическими документами по обобщению и анализу правовой информации;
- навыками формирования и развития здорового социально-психологического климата в организации, нетерпимости к коррупционному поведению.

### **Критерии оценивания:**

достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в реферате проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);

уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований);

личные заслуги автора реферата (новые знания, которые получены помимо основной образовательной программы, новизна материала и рассмотренной проблемы, научное значение исследуемого вопроса);

культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора);

культура оформления материалов работы (соответствие реферата всем стандартным требованиям);

знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;

степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всестороннее раскрытие темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению);

качество и ценность полученных результатов (степень завершенности реферативного исследования, спорность или однозначность выводов);

использование профессиональной терминологии;

использование литературных источников.



**Образец оформления титульного листа контрольной работы (реферата)**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Инженерно-экономический факультет

Кафедра антикризисного управления и оценочной деятельности

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА (РЕФЕРАТ)**

по дисциплине

«Основы правовых знаний и финансовая грамотность»

на тему:

**Деградация института социального партнерства в современной России**

**Руководитель:**

к. ф. н. Слукин С.В.

**Студент** гр. Э-21

Иванов Николай Иванович

Екатеринбург – 2021

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### ОСНОВЫ ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ И ФИНАНСОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ

Направление подготовки  
*38.03.01 Экономика*

Профиль  
*Экономика и управление на предприятиях (организациях)*

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Слукин С.В., к.ф.н.

Одобрены на заседании кафедры

Антикризисного управления и оценочной де-  
ятельности

*(название кафедры)*

Зав. кафедрой

*(подпись)*

Мальцев Н.В.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 2 от 28.09. 2021 г.

*(Дата)*

Рассмотрены методической комиссией

Инженерно-экономического факультета

*(название факультета)*

Председатель

*(подпись)*

Мочалова Л.А.

*(Фамилия И.О.)*

Протокол № 1 от 29.09.2021

*(Дата)*

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                          | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....                          | 6  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ.....              | 10 |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ<br>ЗАДАНИЯМ..... | 14 |
| ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ.....                         | 16 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....             | 17 |

## 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 знаний 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 студентов, обучающихся по дисциплине «*Основы правовых знаний и финансовая грамотность*» 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 экзамена.

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 «*Основы правовых знаний и финансовая грамотность*» 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 (семинарским) занятиям;
- подготовка контрольной работы (реферата);
- подготовка к экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

### **Тема 1. Теория сочетания и взаимодействия современного права и экономики**

1. Сформулируйте понятие и перечислите основные функции права.
2. Перечислите источники российского права.
3. Раскройте роль законов и подзаконных актов при регулировании отношений.
4. Проанализируйте систему и отрасли российского права.
5. Перечислите и охарактеризуйте основные правовые системы современности.
6. Определите соотношение между такими понятиями как рыночная экономика и отношения собственности.
7. Раскройте сущность и развитие категорий собственности.
8. Содержание экономической и юридической категорий собственности.
9. Отношения собственности в природопользовании. Формы собственности в рыночной экономике.

### **Тема 2. Основы конституционного и гражданского права**

1. Раскройте значение Конституции Российской Федерации – как базового закона государства.
2. Охарактеризуйте этапы конституционного развития России.
3. Перечислите и раскройте основные принципы конституционного строя РФ.
4. Перечислите и раскройте основные права и свободы человека и гражданина.
5. Особенности федеративного устройства России.
6. Раскройте систему органов государственной власти в Российской Федерации.
7. Принципы гражданского права.
8. Источники гражданского права. Перечислите и охарактеризуйте юридические лица и их организационно-правовые нормы.
9. Перечислите объекты гражданских прав.
10. Сделки в гражданском праве. Право собственности: приобретение и прекращение.

### **Тема 3. Основы трудового права и права социального обеспечения**

1. Сформулируйте понятие трудового стажа.
2. Раскройте юридическое, экономическое и социальное значение трудового стажа.
3. Перечислите и раскройте основные принципы трудового права и права социального обеспечения.
4. Раскройте понятие трудового правоотношения.
5. Перечислите общие и специальные основания прекращения трудового договора.
6. Раскройте основные положения пенсионного законодательства
7. Раскройте основные положения законодательства, регулирующего порядок назначения пособий.

#### **Тема 4. Основы финансового и налогового права**

1. Перечислите источники финансового права.
2. Перечислите и раскройте основные понятия налогового права.
3. Перечислите и раскройте основные принципы налогового права.
4. Сформулируйте определение финансовой системы.
5. Раскройте особенности финансовой системы России.
6. Раскройте социально-экономическую сущность и функции финансов.
7. Перечислите и раскройте основные звенья финансовой системы
8. Перечислите основные виды налогов.

#### **Тема 5. Правовое регулирование рынка финансовых услуг в РФ**

1. Кратко охарактеризуйте систему финансово-кредитного предпринимательства в России.
2. Дайте определение понятие рынка финансовых услуг и раскройте его содержание.
3. Раскройте особенности банковской деятельности в России.
4. Сформулируйте определение коммерческого банка и раскройте правовое положение банков в России.
5. Перечислите субъекты, осуществляющие финансово-кредитное предпринимательство в России и кратко охарактеризуйте их правовое положение.
6. Проведите сравнительный анализ правового положения банка и микрофинансовой организации.
7. Определите отличие брокерской и дилерской деятельности на рынке ценных бумаг.



8. Сформулируйте и раскройте содержание договоров кредита, займа, договор финансирования под уступку денежного требования.
9. Раскройте особенности правового регулирования биржевой деятельности.
10. Правовое регулирование страховой деятельности. Центральный Банк России.

## **Тема 6. Права потребителя и связанные с ними основы предпринимательского права**

1. Сформулируйте понятие потребительского права.
2. Перечислите источники потребительского права.
3. Кратко охарактеризуйте закон о защите прав потребителя и основные сферы его применения.
4. Перечислите и раскройте основные права потребителя при приобретении товаров работ и услуг.
5. Раскройте особенности реализации права на образование в России.
6. Понятие защиты прав и интересов предпринимательских структур.
7. Перечислите органы, осуществляющие защиту прав и интересов предпринимательских структур.
8. Перечислите и раскройте способы защиты прав и интересов коммерческих организаций и индивидуальных предпринимателей во взаимоотношениях с потребителем.
9. Опишите особенности защита прав и интересов в претензионном порядке. Назовите сроки предъявления и рассмотрения претензий.
10. Последствия нарушения претензионного порядка.
11. Раскройте порядок разрешения споров, вытекающих из предпринимательской деятельности в судебном порядке с участием потребителя.
12. Опишите порядок осуществления контроля за предпринимательской деятельностью.
13. Раскройте сущность лицензирования отдельных видов предпринимательской деятельности.
14. Сформулируйте понятие и перечислите принципы технического регулирования.

## **Тема 7. Основы антикоррупционного законодательства в РФ**

1. Перечислите основные источники антикоррупционного законодательства. Формы и методы противодействия коррупции в России и мире.

2. Сформулируйте понятие защиты прав и интересов предпринимательских структур от необоснованного вмешательства в хозяйственную деятельность.
3. Перечислите и кратко охарактеризуйте правовое положение органов, осуществляющих защиту прав и интересов предпринимательских структур.
4. Перечислите способы защиты прав и интересов коммерческих организаций и индивидуальных предпринимателей.
5. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные источники антимонопольного законодательства.
6. Сформулируйте понятие конкуренции и доминирующего положения.
7. Сформулируйте понятие и перечислите виды монополий.
8. Сформулируйте понятие и перечислите виды недобросовестной конкуренции.
9. Естественная и государственная монополия.
10. Перечислите и охарактеризуйте полномочия антимонопольных органов.
11. Опишите ответственность за нарушение антимонопольного законодательства

## 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 рамки 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 серьезный, 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 ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;

- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;

2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;

3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их требуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.



## 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 ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к экзамену по дисциплине «*Основы правовых знаний и финансовая грамотность*» 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 «*Основы правовых знаний и финансовая грамотность*».

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 экзамене 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 экзамене (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 экзамену 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 НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



Проректор по учебно-методическому комплексу С.А. Угоров

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных и контрольных работ  
по дисциплине

### Б1.О.11 ХИМИЯ

Направление подготовки

**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

Направленность (профиль)

**Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов**

Форма обучения: **очная, заочная**

Год набора: **2022**

Автор: Зайцева Н.А., доцент, к.х.н.

Одобрены на заседании кафедры

Химии

(название кафедры)

Зав.кафедрой

Амдур А. М.  
(подпись)

Амдур А. М.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 16.09.2021

(Дата)

Рассмотрены методической комиссией  
факультета

Горно-механического

(название факультета)

Председатель

Осипов П. А.  
(подпись)

Осипов П. А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 12.10.2021

(Дата)

Екатеринбург

## ВВЕДЕНИЕ

*Качественная реакция* – химическая реакция, с помощью которой можно определить наличие в растворе того или иного вещества или его фрагмента (катиона, аниона, функциональной группы). Качественная реакция на ионы позволяет обнаружить («открыть») в растворе присутствие соответствующих ионов. При обнаружении открываемого иона обычно фиксируют появление аналитического сигнала — образование осадка, изменение окраски раствора, появление запаха и т. д.

### Требования к качественным реакциям

1. Экспрессность (реакция должна протекать быстро).
2. Высокая чувствительность.
3. Селективность или специфичность.
4. Необратимость.

**Чувствительность** реакции определяется наименьшим количеством искомого вещества, которое может быть обнаружено данным реактивом в капле раствора.

Существенной характеристикой анализа является селективность (избирательность).

По избирательности реагенты можно разделить на три группы:

1. *Специфические реагенты* – реактивы, с помощью которых в данных условиях можно обнаружить только одно вещество

(ион), например: крахмал для обнаружения  $I_2$  (синяя окраска); щёлочь для обнаружения  $NH_4^+$  (запах аммиака).

*Специфические реакции* – реакции, которые дают возможность открывать одни ионы в присутствии различных других ионов.

2. *Селективные реагенты* – реактивы, с помощью которых в данных условиях можно обнаружить небольшое число веществ. Например, диметилглиоксим в аммиачном буферном растворе реагирует с Fe (II), Co (II), Ni (II), Zr (IV), Th (IV).

3. *Групповые реагенты* – используются в систематическом анализе смеси катионов и взаимодействуют со всеми катионами одной аналитической группы.

Реакции, позволяющие обнаружить искомые ионы в отдельных порциях сложной смеси при условии устранения влияния других ионов, называют **дробными реакциями**, а метод анализа, основанный на применении дробных реакций, называют **дробным анализом**. При этом порядок обнаружения катионов и анионов не имеет особого значения. При **систематическом анализе**, в отличие от дробного, соблюдается определенный порядок разделения и последующего открытия ионов. К обнаружению ионов приступают лишь после удаления из раствора всех других ионов, мешающих открытию. Систематический (групповой) анализ применяют при невозможности использования дробного анализа. На основе растворимости их солей или других соединений ионы делят на аналитические группы, на основании различных классификаций катионов разработаны разные методы систематического анализа катионов.

## Методы систематического анализа

1. Сероводородный – основан на разной растворимости сульфидов и хлоридов в зависимости от  $pH$ -среды.

2. Аммиачно-фосфатный – основан на разной растворимости фосфатов.

3. Кислотно-основной – основан на разной растворимости в кислотах и основаниях гидроксидов и солей (табл. 1).

Таблица 1

### Классификация катионов по кислотно-основному методу

| Группа | Катионы                                                                                                                                      | Групповой реактив                         | Характеристика группы                                             |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| I      | $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$                                                                                               | –                                         | Хлориды, сульфаты и гидроксиды растворимы в воде                  |
| II     | $\text{Ag}^+$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Hg}_2^{2+}$                                                                                        | 2М HCl                                    | Хлориды нерастворимы в воде и разбавленных кислотах               |
| III    | $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$                                                                                       | 2М $\text{H}_2\text{SO}_4$                | Сульфаты нерастворимы в воде, кислотах и щелочах                  |
| IV     | $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ ,<br>* $\text{As}^{3+}$ , * $\text{As}^{5+}$ , $\text{Sn}^{2+}$ ,<br>$\text{Sn}^{4+}$ | 4М NaOH<br>(избыток)                      | Гидроксиды амфотерны, растворимы в избытке щелочи                 |
| V      | $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ ,<br>$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Bi}^{3+}$ , $\text{Sb}^{3+}$ , $\text{Sb}^{5+}$        | 2М NaOH<br>(25 % $\text{NH}_4\text{OH}$ ) | Гидроксиды нерастворимы в избытке щелочи и аммиаке                |
| VI     | $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ ,<br>$\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$                                              | 25% $\text{NH}_4\text{OH}$<br>(избыток)   | Гидроксиды растворимы в избытке аммиака с образованием аммиакатов |

\*  $\text{As}^{3+}$  и  $\text{As}^{5+}$  гидроксидов не образуют.

## Лабораторная работа № 1

### КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА КАТИОНЫ ЖЕЛЕЗА

**Цель работы:** познакомиться с качественными реакциями на катионы железа, определить наиболее подходящие реактивы для открытия  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ .

Для получения аналитического сигнала в качественном анализе используют химические реакции разных типов: реакции ионного обмена (осаждение, нейтрализация), окислительно-восстановительные, комплексообразование. Для обнаружения ионов железа возможно использование всех типов реакций.

#### *Реакции ионного обмена в качественном анализе*

##### **Опыт 1. Действие щелочей на катионы $\text{Fe}^{3+}$ и $\text{Fe}^{2+}$**

В две пробирки налейте по 1 мл растворов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{FeSO}_4$ , добавьте по 1 мл раствора щёлочи в каждую пробирку. Сравните полученные осадки  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , составьте уравнения обеих реакций. Растворимы ли полученные гидроксиды железа в избытке щёлочи?

##### **Опыт 2. Действие раствора аммиака на катионы $\text{Fe}^{3+}$ и $\text{Fe}^{2+}$**

В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей железа (III) и железа (II), добавьте по 1 мл разбавленного раствора гидроксида

аммония в каждую пробирку. Сравните полученные осадки с осадками из первого опыта. Составьте уравнения реакций. Проверьте действие избытка концентрированного гидроксида аммония на оба осадка: образуют ли ионы железа аммиачные комплексы?

### *Реакции окисления-восстановления*

#### **Опыт 3. Действие окислителей на катионы $\text{Fe}^{3+}$ и $\text{Fe}^{2+}$**

а) В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , добавьте по 2 мл раствора серной кислоты. В обе пробирки прилейте раствор перманганата калия, в какой из них наблюдается обесцвечивание  $\text{KMnO}_4$ ? Запишите уравнение реакции, учитывая, что в кислой среде перманганат-ионы восстанавливаются до ионов  $\text{Mn}^{2+}$ , уравняйте его методом электронно-ионного баланса.

б) В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , добавьте по 2 мл раствора серной кислоты. В обе пробирки прилейте раствор бихромата калия, в какой из них наблюдается изменение окраски раствора? Запишите уравнение реакции, учитывая, что бихромат-ионы  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  восстанавливаются до ионов  $\text{Cr}^{3+}$ , уравняйте его методом электронно-ионного баланса.

#### **Опыт 4. Действие восстановителей на катионы $\text{Fe}^{3+}$ и $\text{Fe}^{2+}$**

В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , добавьте по 1 мл раствора йодида калия. Какая из солей железа проявила окислительные свойства? Запишите уравнение реакции, расставьте коэффициенты методом электронно-ионного баланса.



## *Реакции с участием комплексных ионов*

### **Опыт 5. Реакция ионов железа с роданидом аммония**

В две пробирки налейте по 1 мл раствора  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{FeSO}_4$ , добавьте по 1 мл раствора роданида аммония  $\text{NH}_4\text{SCN}$  в каждую пробирку. В какой из пробирок наблюдается образование роданида железа красного цвета? Составьте уравнение реакции.

### **Опыт 6. Реакция ионов железа с реактивом Чугаева**

В две пробирки налейте по 1 мл раствора соли железа (III) и железа (II), добавьте по 1 мл раствора аммиака и по 1 капле раствора диметилглиоксима ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$ ). Для какого иона железа наблюдается образование окрашенного внутрикомплексного соединения с реактивом Чугаева? Составьте уравнение реакции образования диметилглиоксимата железа  $[\text{Fe}(\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2\text{N}_2)_2]$ .

### **Опыт 7. Берлинская лазурь и турнбуллева синь**

На растворы  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{FeSO}_4$  подействуйте каплей раствора жёлтой кровяной соли (гексацианоферрата (II) калия). В каком случае наблюдается выпадение синего осадка? Запишите уравнение реакции, предполагая, что выпавший осадок берлинской лазури имеет состав  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ .

На растворы  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{FeSO}_4$  подействуйте каплей раствора красной кровяной соли (гексацианоферрата (III) калия). В каком случае наблюдается выпадение синего осадка? Запишите уравнение

реакции, предполагая, что выпавший осадок турбуллевой сини имеет состав  $\text{Fe}_3 [\text{Fe} (\text{CN})_6]_3$ . Сделайте вывод, какой кровяной солью можно открыть ион  $\text{Fe}^{2+}$ , и с помощью какой обнаруживается ион  $\text{Fe}^{3+}$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что произойдет с зеленоватым осадком  $\text{Fe} (\text{OH})_2$  при добавлении к нему раствора перекиси водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ ? Запишите уравнение реакции, уравняйте его методом электронно-ионного баланса.

2. Выпадет ли осадок при смешивании равных объемов растворов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NaOH}$ , если  $\text{PP} (\text{Fe} (\text{OH})_3) = 3,8 \cdot 10^{-38}$ , а концентрации растворов 0,001 моль/л? Выпадет ли осадок при смешивании равных объемов растворов  $\text{FeSO}_4$  и  $\text{NaOH}$ , если  $\text{PP} (\text{Fe} (\text{OH})_2) = 4,8 \cdot 10^{-16}$ , а концентрации обоих растворов 0,001 моль/л?

3. Какой объём соляной кислоты с концентрацией 0,01 моль/л требуется для полного растворения осадка  $\text{Fe} (\text{OH})_3$  массой 0,5 г?

4. Реакция образования окрашенного роданида железа (опыт 3) является обратимой. Запишите выражение для константы равновесия этой реакции. Какими способами, согласно принципу Ле-Шателье, можно сместить равновесие в сторону образования окрашенного продукта?

5. Запишите уравнения реакций первичной и вторичной диссоциации красной и жёлтой кровяных солей. Почему чаще всего именно цианид-ионы используются для маскирования ионов железа в растворах?

6. Подвергаются ли соли железа гидролизу? Запишите уравнения взаимодействия с водой для  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{FeSO}_4$ , определите тип гидролиза и кислотность среды раствора. Какую окраску приобретёт лакмус в этих растворах?

## Лабораторная работа № 2

### КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ и $\text{Cu}^{2+}$

**Цель работы:** познакомиться с качественными реакциями на ионы  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , выполняемыми пробирно, капельно, и с использованием экстракции, определить наиболее подходящие реакции для открытия каждого иона.

**Предел обнаружения** – минимальная концентрация или минимальное количество вещества, которое может быть обнаружено данным методом допустимой погрешностью. Предел обнаружения в значительной степени зависит от условий протекания реакции. Обычно для обнаружения ионов применяют реакции с пределом обнаружения  $10^{-7}$  г (0,1 мкг) в 1 мл раствора.

#### **Приемы для обеспечения низкого предела обнаружения**

1. *Капельный анализ* – метод микрохимического анализа, в котором качественную реакцию проводят с использованием капли раствора. Реакции выполняют на стеклянной или фарфоровой пластинке, фильтровальной бумаге (иногда предварительно пропитанной раствором реагента и высушенной). Пределы обнаружения веществ 0,1–0,001 мкг в капле объемом 50 мм<sup>3</sup>. Минимальные пределы обнаружения достигаются при выполнении анализа на фильтровальной бумаге.

2. *Микрокристаллоскопический анализ* – метод анализа, основанный на реакциях образования кристаллических осадков с харак-

терной формой кристаллов, для рассмотрения которых используется микроскоп.

3. *Экстракция* – процесс перевода вещества из водной фазы в органическую, используется для разделения и концентрирования веществ.

4. *Флотация* – процесс разделения мелких твёрдых частиц в водной суспензии или растворе, основанный на их избирательной адсорбции на границах раздела фаз в соответствии с их смачиваемостью, используется для разделения и концентрирования.

5. *Метод «умножающихся реакций»* – ряд последовательных реакций, в результате которых получается новое вещество в количестве, во много раз превышающем первоначальное количество обнаруживаемого вещества.

6. *Каталитические реакции.*

### ***Реакции в пробирке (в растворе)***

#### **Опыт 1. Действие щелочей на катионы $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ и $\text{Cu}^{2+}$**

В три пробирки налейте по 1 мл растворов солей  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , добавьте по 1 мл разбавленного раствора щёлочи в каждую пробирку. Составьте уравнения реакций образования синего  $\text{Co}(\text{OH})\text{Cl}$ , голубого  $\text{Cu}(\text{OH})\text{Cl}$  и зелёного  $\text{Ni}(\text{OH})\text{Cl}$ . Подействуйте на каждый полученный осадок избытком концентрированной щёлочи, составьте уравнения реакций образования гидроксидов кобальта (II), никеля (II) и меди (II).

## **Опыт 2. Действие раствора аммиака на $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ и $\text{Cu}^{2+}$**

В три пробирки налейте по 1 мл растворов солей  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , добавьте по 1 мл разбавленного раствора аммиака в каждую пробирку. Сравните полученные осадки с осадками из первого опыта. Составьте уравнения реакций.

Проверьте действие избытка концентрированного гидроксида аммония на полученные осадки, запишите уравнения реакций, учитывая, что в аммиачных комплексах кобальта и никеля координационное число комплексообразователя равно шести, а медь удерживает только четыре лиганда.

Разрушаются ли полученные аммиакаты раствором кислоты?

## **Опыт 3. Реакции с желтой кровяной солью**

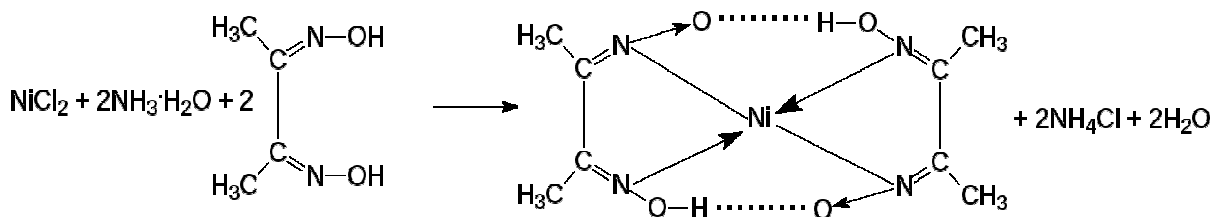
В три пробирки налейте по 1 мл растворов солей  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , добавьте по 1 мл разбавленного раствора гексацианоферрата (II) калия в каждую пробирку. Что наблюдается? Составьте уравнения реакций, учитывая, что все осадки получены в результате полного ионного обмена.

### *Капельные реакции на фильтровальной бумаге*

## **Опыт 4. Реакция катионов $\text{Ni}^{2+}$ с реактивом Чугаева**

На сухую фильтровальную бумагу поместите несколько капель раствора соли никеля (II), добавьте каплю раствора аммиака и каплю раствора диметилглиоксима  $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$  (реактив Чугаева). Сравните наблюдаемый аналитический сигнал с реакцией образо-

вания диметилглиоксимата железа (II), выполненной в предыдущей работе. Запишите уравнение реакции



Проведите аналогичную реакцию с растворами меди (II) и кобальта (II). Какой из этих ионов может мешать определению ионов никеля и почему?

### Опыт 5. Капельная реакция ионов $\text{Co}^{2+}$ с роданидом аммония

Поместите на сухую фильтровальную бумагу несколько капель раствора хлорида кобальта (II), добавьте кристаллы сухой соли  $\text{NH}_4\text{SCN}$ , при необходимости добавьте ещё одну каплю раствора. Как изменилась окраска кристаллов? Составьте уравнение реакции образования комплексного соединения  $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$ .

### *Обнаружение катионов с использованием экстракции*

### Опыт 6. Реакция ионов $\text{Co}^{2+}$ с роданидом аммония

Поместите в пробирку несколько капель раствора хлорида кобальта (II), добавьте кристаллы сухой соли тиоцианата (роданида) аммония. Как изменилась окраска раствора?

Чувствительность этой реакции можно повысить с помощью экстракции окрашенного комплекса  $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$  органическим растворителем. Добавьте к полученному раствору несколько капель изоамилового спирта, взболтайте. Дождитесь разделения в пробирке водной и спиртовой фаз. Что при этом наблюдается?

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Составьте уравнения реакций первичной и вторичной диссоциаций гексаамминкобальта (II), гексаамминникеля (II), тетраамминмеди (II). Запишите формулы для константы нестойкости.

2. Для открытия ионов  $\text{Ni}^{2+}$  с помощью диметилглиоксима при реакции на капельной пластинке предел обнаружения  $\text{Ni}^{2+}$  – 0,16 мкг; в пробирке можно обнаружить 1,4 мкг  $\text{Ni}^{2+}$  в 1 мл. Предел обнаружения можно уменьшить до 0,015 мкг, если каплю анализируемого раствора нанести на фильтровальную бумагу, пропитанную диметилглиоксимом. Если осадок диметилглиоксимата никеля (II) флотируется на границе раздела фаз «вода – изоамиловый спирт», то предел обнаружения ионов  $\text{Ni}^{2+}$  понижается до 0,002 мкг. Определите минимальную молярную концентрацию ионов  $\text{Ni}^{2+}$ , открываемых каждым из способов.

3. Окисление тиосульфат-ионов ионами железа (III) ускоряется в присутствии ионов меди (каталитическая реакция). Время обесцвечивания тиоцианата железа (III) тиосульфатом натрия в отсутствие меди около двух минут. В присутствии ионов  $\text{Cu}^{2+}$  раствор тиоцианата железа (III) обесцвечивается мгновенно. Предел обнаружения меди – 0,02 мкг в 1 мл. Определите минимальную молярную концентрацию ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , соответствующую этому пределу обнаружения.

## Лабораторная работа № 3

### КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ $Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Zn^{2+}$

**Цель работы:** познакомиться с качественными реакциями на ионы  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  и  $Zn^{2+}$ , научиться использовать амфотерность их гидроксидов в химическом анализе, определить наиболее подходящие реакции для открытия каждого иона.

Для проведения каждой качественной реакции необходимо соблюдать определенные условия, основные из которых: *pH*-среды; температура; концентрации реагентов; присутствие определенных веществ; отсутствие мешающих ионов или веществ. Для протекания многих реакций необходима среда с определенным значением *pH* водного раствора. Значение *pH* можно контролировать с помощью индикаторов или прибора *pH*-метра. Для поддержания нужного значения *pH* при необходимости используют соответствующие буферные растворы.

*Буферные растворы* — это растворы, способные сохранять постоянное значение *pH* при разбавлении водой или добавлении к ним определенного количества сильных кислот или оснований. В состав буферной смеси входят в определенном количественном соотношении слабые кислоты и их соли с сильными основаниями или слабые основания и их соли с сильными кислотами.

Амфотерность гидроксидов алюминия, цинка и хрома (III) позволяет отделять их от остальных катионов действием растворов щелочей различной концентрации.



### **Опыт 1. Действие щелочей на катионы $Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Zn^{2+}$**

В три пробирки налейте по 1 мл растворов хлоридов алюминия, хрома и цинка, добавьте по несколько капель очень разбавленного раствора щёлочи в каждую пробирку до образования нерастворимых гидроксидов. Составьте уравнения реакций. Подействуйте на каждый полученный осадок избытком щёлочи до полного растворения, составьте уравнения реакций образования тетрагидроксоалюмината, тетрагидроксоцинката и гексагидроскохромата натрия.

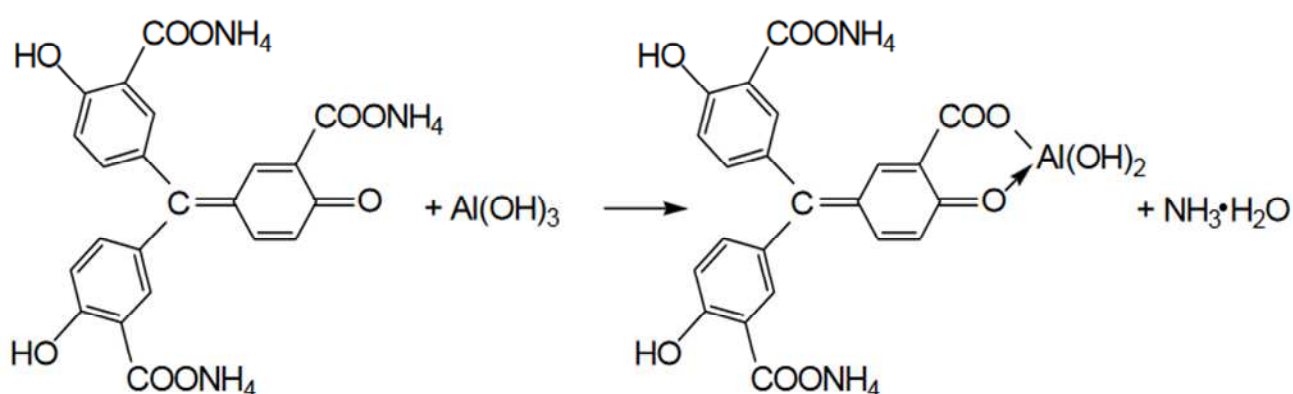
### **Опыт 2. Действие раствора аммиака на ионы $Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Zn^{2+}$**

В три пробирки налейте по 1 мл растворов хлоридов алюминия, хрома и цинка, добавьте по 1 мл разбавленного раствора аммиака в каждую пробирку. Сравните полученные осадки с осадками из первого опыта. Составьте уравнения реакций образования соответствующих гидроксидов.

Проверьте действие избытка концентрированного гидроксида аммония на полученные осадки. Какие гидроксиды растворяются частично или полностью? Составьте реакцию комплексообразования, учитывая, что в образующихся аммиакатных комплексах координационное число каждого комплексообразователя вдвое больше, чем модуль его степени окисления.

### **Опыт 3. Реакция ионов алюминия с алюминоном**

В пробирку поместите 3–4 капли раствора соли алюминия, при необходимости 2–3 капли раствора уксусной кислоты и 3–5 капель 0,01 % раствора алюминона ( $C_{21}H_{11}O_9(NH_4)_3$ ). Смесь нагрейте на водяной бане, добавьте несколько капель раствора аммиака до щелочной реакции и выпадения красного хлопьевидного осадка алюминиевого лака.



#### Опыт 4. Реакция ионов цинка с желтой кровяной солью

В пробирке к 1 мл раствора  $ZnCl_2$  добавьте 1 мл раствора гексацианоферрата (II) калия. Наблюдайте выпадение белого осадка  $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$ . Составьте уравнение этой реакции ионного обмена.

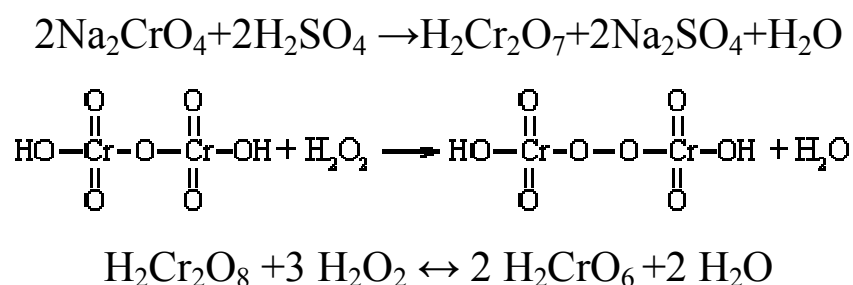
#### Опыт 5. Восстановительные свойства ионов хрома (III)

В пробирку поместите 2–3 капли раствора соли хрома(III), прибавьте 4–5 капель 2 моль/л раствора щёлочи  $NaOH$  до растворения осадка, и 2–3 капли 3 % раствора перекиси водорода  $H_2O_2$ . Нагревайте до изменения зеленой окраски раствора на желтую (цвет

хромат-ионов  $\text{CrO}_4^{2-}$ ). Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, расставьте коэффициенты методом электронно-ионного баланса.

### Опыт 6. Образование надхромовой кислоты

К жёлтому раствору хромата натрия, полученному в предыдущем опыте, прибавьте 5 капель пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ~0,5 мл изоамилового спирта, тщательно перемешайте и прибавьте по каплям раствор серной кислоты (1 моль/л). Верхний органический слой окрашивается в интенсивно синий цвет за счёт экстракции образовавшейся надхромовой кислоты  $\text{H}_2\text{CrO}_6$ . Запишите уравнение реакции, протекающее через образование дихромовой кислоты и её последующее окисление перекисью водорода:



Составьте электронно-ионный баланс для этой реакции.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Составьте уравнения первичной и вторичной диссоциации солей, полученных в первом опыте: тетрагидроксоалюмината, тетрагидроксоцинката и гексагидроксохромата натрия.

2. Напишите выражение константы нестойкости для комплексных ионов тетраамминцинка и гексаамминхрома, полученных во втором опыте.

3. Напишите уравнения диссоциаций хромовой, дихромовой и надхромовой кислот.

#### **Лабораторная работа № 4**

### **РАЗДЕЛЕНИЕ И ОБНАРУЖЕНИЕ КАТИОНОВ $\text{Ag}^+$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Hg}^{2+}$ МЕТОДОМ ОСАДОЧНОЙ БУМАЖНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

**Цель работы:** познакомиться с разделением и идентификацией катионов методом бумажной хроматографии

*Хроматография* – физико–химический метод разделения веществ, основанный на использовании сорбционных процессов в динамических условиях.

Анализируемые компоненты распределяются между подвижной и неподвижной фазами. Неподвижной фазой служит твердое вещество – сорбент. Подвижной фазой является жидкость или газ, протекающий через неподвижную фазу – элюент. Элюент в процессе хроматографирования перемещается вдоль сорбента, так что частицы анализируемых веществ могут многократно переходить из подвижной фазы в неподвижную и наоборот. Разделение веществ с помощью хроматографии основано на различном сродстве разделяемых компонентов к подвижной и неподвижной фазам.

*Бумажная хроматография* – вид хроматографии, в котором носителем неподвижного растворителя служит очищенная от примесей фильтровальная бумага. Подвижная фаза продвигается вдоль

листа бумаги, главным образом за счет капиллярных сил. Бумажная хроматография отличается простотой, экспрессностью, наглядностью разделения, высокой чувствительностью (можно определить 10–20 мкг вещества с точностью 5–7 %).

### **Опыт 1. Подготовка фильтровальной бумаги**

Два фильтра «синяя лента» диаметром 45 мм смочите 5 %-м раствором йодида калия, опуская фильтры в раствор пинцетом. Высушите фильтры на воздухе в чашке Петри.

### **Опыт 2. Получение первичной осадочной хроматограммы**

В центр каждого высушенного фильтра нанесите пипеткой каплю анализируемой смеси катионов  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , после её полного впитывания нанесите еще одну, дайте ей впитаться. Катионы анализируемой смеси вступают в реакцию с KI, которым пропитан фильтр, образуя осадочную хроматограмму, зоны которой имеют цвета осадков  $\text{AgI}$  (жёлтый),  $\text{HgI}_2$  (оранжевый),  $\text{PbI}_2$  (ярко-желтый).

Полученные хроматограммы необходимо промыть дистиллированной водой. Для промывания хроматограмм нанесите на фильтры 2–3 капли дистиллированной воды, внося каждую последующую каплю после впитывания предыдущей до увеличения размера зон в два–три раза. Высушите обе осадочные хроматограммы, заполните табл. 1, составьте уравнения реакций образования осадков.

Таблица 1

**Первичная хроматограмма смеси катионов  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$**

| Зона адсорбции                                   | Цвет зоны | Ион |
|--------------------------------------------------|-----------|-----|
| 1. Первая – хорошая адсорбция (в центре фильтра) |           |     |
| 2. Вторая – средняя адсорбция                    |           |     |
| 3. Третья – плохая адсорбция (края фильтра)      |           |     |

### **Опыт 3. Получение проявленной осадочной хроматограммы**

Анализируя первичную хроматограмму, легко определить катионы  $\text{Hg}^{2+}$  (оранжевая зона в центре) и  $\text{Pb}^{2+}$  (ярко-желтая зона по периферии). Бледно-желтая окраска  $\text{AgJ}$  либо видна плохо (из-за маскировки оранжевым  $\text{HgJ}_2$  и ярко-желтым  $\text{PbJ}_2$ ), либо не видна совсем. Для того, чтобы явно видеть зону серебра, первичную хроматограмму на одном из фильтров необходимо проявить.

Для проявления хроматограммы внесите в центр фильтра каплю раствора  $\text{NaOH}$ . При этом йодид свинца растворится в  $\text{NaOH}$  с образованием бесцветного плюмбита натрия  $\text{Na}_2\text{PbO}_2$ , йодид ртути останется неизменным, бледно-жёлтое пятно йодида серебра постепенно почернеет вследствие превращения гидроксида серебра (I) в оксид серебра (I), который затем разложится до свободного серебра.

Заполните табл. 2, составьте уравнения всех протекающих при проявке первичной хроматограммы реакций.

Таблица 2

**Вторичная хроматограмма смеси катионов  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$**

| Зона адсорбции                                   | Цвет зоны | Ион |
|--------------------------------------------------|-----------|-----|
| 1. Первая – хорошая адсорбция (в центре фильтра) |           |     |
| 2. Вторая – средняя адсорбция                    |           |     |
| 3. Третья – плохая адсорбция (край фильтра)      |           |     |

По результатам работы сделайте вывод об эффективности метода бумажной хроматографии для дробного открытия катионов  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  при их совместном присутствии.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие процессы лежат в основе хроматографического анализа?
2. Вычислите ПР йодида свинца (II), если известно, что растворимость его равна 0,03 г на 0,1 кг воды.
3. Выпадет ли осадок при взаимодействии равных объемов растворов  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{KI}$ , если концентрации обоих растворов 0,001 моль/л, а произведение растворимости йодида серебра ПР ( $\text{AgI}$ ) =  $8,3 \cdot 10^{-17}$ .
4. В избытке йодида калия осадок йодида ртути (II) растворяется без изменения степеней окисления элементов с образованием комплексного соединения тетраयोмеркурата калия. Составьте уравнение этой реакции, а также уравнения первичной и вторичной диссоциаций полученного соединения, запишите выражение для константы нестойкости комплексного иона.
5. Оксид серебра (I) неустойчив на воздухе, поэтому он используется не в чистом виде, а в аммиачном растворе (реактив Толленса). При взаимодействии гидроксида аммония и оксида серебра (I) образуется гидроксид диамминсеребра (I). Составьте уравнение этой реакции, а также уравнения первичной и вторичной диссоциаций полученного соединения, запишите выражение для константы нестойкости комплексного иона.

6. Дайте определения терминам «элюент», «сорбент», «элюат», «подвижная фаза», «неподвижная фаза», «сорбция», «десорбция».

## Лабораторная работа № 5

### ДРОБНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КАТИОНОВ

**Цель работы:** с помощью качественных реакций определить, какая соль находится в каждой пробирке.

#### Ход работы

В двенадцати пронумерованных пробирках находятся следующие растворы соли:

| Раствор бесцветный    | Раствор может быть окрашенным |
|-----------------------|-------------------------------|
| Хлорид аммония        | Сульфат меди (II)             |
| Хлорид кальция        | Хлорид кобальта (II)          |
| Сульфат марганца (II) | Хлорид никеля (II)            |
| Сульфат железа (II)   | Хлорид хрома (III)            |
| Хлорид цинка          | Хлорид железа (III)           |
| Хлорид алюминия       |                               |
| Нитрат свинца (II)    |                               |

После получения у преподавателя нескольких пробирок (по вариантам 3–6 шт.,) составьте в тетради таблицу для записи результатов анализа:

#### Качественный анализ растворов, номер (№) (запишите номера пробирок)

| Испытуемый раствор                   | Добавленный реагент | Наблюдение      | Предполагаемый состав | Вывод |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|-------|
| Опыт № 1 «Открытие окрашенных ионов» |                     |                 |                       |       |
| № 13                                 | отсутствует         | Раствор розовый | Ионы $\text{Co}^{2+}$ |       |



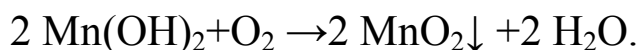
|                             |      |                                                                |                               |                                  |
|-----------------------------|------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| № 13                        | NaOH | Выпал синий осадок, при добавлении избытка щёлочи стал розовым | CoOHCl<br>Co(OH) <sub>2</sub> | В пробирке был CoCl <sub>2</sub> |
| Опыт № 2 «Действие щелочей» |      |                                                                |                               |                                  |
| № 14                        |      |                                                                |                               |                                  |

### Опыт 1. Открытие окрашенных ионов

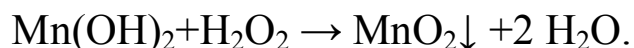
Опишите внешний вид растворов, сделайте предположения, какие растворы могут быть в каждой из пробирок, занесите их в таблицу. Наиболее вероятные предположения (для окрашенных растворов) проверьте с помощью соответствующих качественных реакций, взяв для анализа небольшую порцию испытуемого раствора. Составьте уравнения реакций, сделайте выводы.

### Опыт 2. Действие щелочей на испытуемые растворы

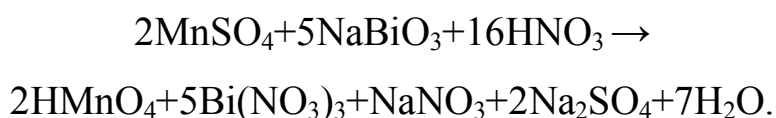
Взяв пробы оставшихся исследуемых растворов (по 0,5 мл), подействуйте на них разбавленным раствором щёлочи, добавляя его по каплям. Занесите в таблицу аналитический сигнал: выделился запах аммиака, выпал неизменяющийся осадок, выпал осадок, растворимый в избытке щёлочи или темнеющий на воздухе. Обратите внимание, что гидроксид свинца Pb(OH)<sub>2</sub> проявляет амфотерные свойства, растворяясь в избытке щелочи с образованием плюмбита Na<sub>2</sub>PbO<sub>2</sub>, а светло-бежевый гидроксид марганца Mn(OH)<sub>2</sub> постепенно окисляется кислородом воздуха, что выглядит как потемнение раствора на границе с воздухом:



Эту реакцию можно сделать более наглядной, ускорив процесс окисления с помощью перекиси водорода:



Сделайте предположения о том, какие катионы находятся в пробирках. Проверьте предположения с помощью качественных реакций, для ионов  $\text{Mn}^{2+}$  кроме реакции с  $\text{H}_2\text{O}_2$  можно использовать ОВР с окислением марганца до розовых перманганат-ионов висмутатом натрия в сильноокислой среде:



Сделайте выводы, запишите уравнения выполненных реакций.

### **Опыт 3. Действие раствора аммиака на испытуемые пробы**

Взяв пробы оставшихся исследуемых растворов (по 0,5 мл), подействуйте на них разбавленным раствором аммиака. Занесите в таблицу аналитический сигнал. Сделайте предположения о том, какие катионы находятся в пробирках. Проверьте предположения с помощью качественных реакций. Сделайте выводы, запишите уравнения выполненных реакций.

### **Опыт 4. Открытие неокрашенных ионов**

Взяв пробы оставшихся исследуемых растворов (по 0,5 мл), проведите качественный анализ на катионы, которые остались не открытыми. Сделайте выводы, запишите уравнения выполненных реакций.

**ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ  
«КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИ-  
МИИ»**

1. Две соли окрашивают пламя в фиолетовый цвет. Одна из них бесцветна, и при лёгком нагревании её с концентрированной серной кислотой отгоняется жидкость, в которой растворяется медь; последнее превращение сопровождается выделением бурого газа. При добавлении к раствору второй соли раствора серной кислоты жёлтая окраска раствора изменяется на оранжевую, а при нейтрализации полученного раствора щёлочью восстанавливается первоначальный цвет. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

2. В двух сосудах находятся растворы неизвестных веществ. При добавлении к раствору первого вещества хлорида бария выпадает осадок белого цвета, нерастворимый в воде и кислотах. Осадок белого цвета выпадает также и при добавлении

раствора нитрата серебра к пробе, отобранной из второго сосуда. При нагревании пробы первого раствора с гидроксидом натрия выделяется газ с резким запахом. При взаимодействии второго раствора с хроматом натрия выпадает осадок жёлтого цвета. Напишите уравнения описанных реакций.

3. Действием концентрированной серной кислоты на белые кристаллы при нагревании получен газ. При пропускании этого газа через раствор нитрата серебра выпал белый творожистый осадок. Кристаллы окрашивают пламя спиртовки в жёлтый цвет. Какая соль была взята для реакции? Приведите её формулу и название. Запишите уравнения реакций, описанных в тексте.

4. Порошкообразное вещество белого цвета окрашивает пламя горелки в оранжево-красный цвет. При действии соляной кислоты «вскипает» с выделением тяжёлого газа без цвета и запаха. Это вещество способно растворяться в воде при одновременном пропускании избытка углекислого газа. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

5. Некоторое кристаллическое вещество, окрашивающее пламя в жёлтый цвет, хорошо растворяется в воде. При добавлении к этому раствору нитрата серебра выпадает жёлтый осадок, не растворимый в разбавленной азотной кислоте. При действии на исходный раствор бромной воды образуется коричневое ок-

рашивание. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

6. Для определения качественного состава белый, нерастворимый в воде порошок с зеленоватым оттенком подвергли термическому разложению, в результате которого образовалось два оксида. Один из них — порошок чёрного цвета, при добавлении к которому раствора серной кислоты и последующем нагревании образовался раствор голубого цвета. Про другой известно, что это газ тяжелее воздуха, без цвета и запаха, играющий важную роль в процессе фотосинтеза. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

7. Для проведения исследования бесцветные кристаллы соли, которые при непродолжительном нахождении на воздухе приобрели голубой цвет, нагрели до выделения бурого газа и образования чёрного порошка. При пропускании над нагретым полученным порошком водорода наблюдалось появление красного налёта простого вещества — металла. Известно, что металл, образующий катион, входит в состав многих сплавов, например бронзы. Запишите химическую формулу и название исследованной соли. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования его свойств.

8. Для изучения состава соли был взят раствор, который разделили на две части. К первой части этого раствора добавили хлорид натрия, в результате чего выпал белый осадок. При добавлении ко второй части раствора цинковой стружки образовались серые хлопья металла, катионы которого обладают дезинфицирующим свойством. Известно, что выданная соль используется для изготовления зеркал и в фотографии, а её анион является составной частью многих минеральных удобрений. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

9. Для изучения состава соли были взяты белые кристаллы хорошо растворимого в воде вещества, которое используется в хлебопечении и кондитерской промышленности в качестве разрыхлителя теста. В результате процесса термического разложения выданной соли образовались три вещества, два из которых при обычных условиях являются газами. При нагревании соли с гидроксидом натрия образуется газ, водный раствор которого используется в медицине под названием нашатырный спирт. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

10. Для установления качественного состава была изучена соль тяжёлого металла, оксид которого используется в производстве хрустального стекла. При термическом разложении соли об-

разуется оксид этого металла и два газообразных вещества: одно из них — газ бурого цвета, а другое — важнейший компонент воздуха. При приливании к раствору выданной соли раствора йодида калия выпадает осадок ярко-жёлтого цвета. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

11. Для определения качественного состава неизвестной соли азотной кислоты исследовали белое кристаллическое вещество. Это вещество при нагревании полностью разлагается без образования сухого остатка. При действии горячего раствора гидроксида натрия выделяется бесцветный газ с резким запахом, вызывающий посинение лакмусовой бумаги. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

12. В химической лаборатории хранится склянка с кристаллическим веществом белого цвета. При действии на него гидроксида натрия выделяется лёгкий, бесцветный газ с резким запахом, вызывающий посинение лакмусовой бумаги. При действии на него сильной кислоты выделяется бесцветный газ без запаха, вызывающий покраснение раствора лакмуса. При приливании к раствору этого вещества раствора гидроксида кальция выделяется нерастворимый в воде осадок. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

13. Кристаллическое вещество оранжевого цвета при нагревании значительно увеличивается в объёме за счёт выделения бесцветного газа и образует твёрдое вещество тёмно-зелёного цвета. Выделившийся газ взаимодействует с литием даже при комнатной температуре. Продукт этой реакции гидролизуется водой с образованием газа с резким запахом, способного восстановить медь из её оксида. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

14. Для исследования свойств неизвестного вещества его концентрированный раствор разделили на две части. В пробирку с одной частью раствора поместили медную проволоку. При этом наблюдалось выделение бурого газа и растворение меди. При добавлении к другой части раствора силиката натрия наблюдалось образование бесцветного студенистого осадка. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

15. Для определения качественного состава неизвестной соли исследовали раствор голубого цвета. При добавлении горячего раствора сильной кислоты выделился газ с резким запахом жжёной резины, окрашивающий лакмус в красный цвет. При добавлении раствора аммиака сначала выпал голубой осадок, который затем растворился в избытке аммиака с образованием фиоле-



тового раствора. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

16. Для определения качественного состава неизвестной соли исследовали её раствор желтоватого цвета. При добавлении раствора сильной кислоты появился резкий запах уксуса. При добавлении роданида аммония раствор приобрёл кроваво-красную окраску. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

17. Для определения качественного состава неизвестной соли исследовали её бесцветный раствор. При добавлении раствора разбавленной серной кислоты выделился газ с запахом тухлых яиц и выпал белый осадок, не растворимый в кислотах. При взаимодействии порции исходного раствора с хроматом натрия выпадает осадок жёлтого цвета. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

18. Для определения качественного состава было выдано кристаллическое вещество — средняя соль многоосновной кислоты, катион которой не является ионом металла. При взаимодействии данного вещества с гидроксидом натрия выделяется газ с резким раздражающим запахом, а при приливании к раствору

выданного вещества раствора нитрата серебра выпадает осадок жёлтого цвета. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

19. Для определения качественного состава студентам было выдано бесцветное кристаллическое вещество — соль. К одной части раствора исследуемой соли прилили раствор нитрата серебра, в результате чего выпал осадок жёлтого цвета. А при добавлении к другой части раствора карбоната натрия выпал белый осадок. Известно, что катион этой соли образован щёлочно-земельным металлом, входящим в состав костной ткани человека. Анион этой соли состоит из атомов химического элемента, образующего простое вещество, спиртовой раствор которого используется в качестве дезинфицирующего средства. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

20. При определении качественного состава неизвестного кристаллического вещества белого цвета было установлено, что его раствор взаимодействует с раствором гидроксида калия с образованием осадка. А при добавлении к раствору исследуемого вещества раствора нитрата бария выпадает осадок белого цвета, не растворимый в кислотах. Известно, что катион металла, входящий в состав данного соединения, входит в состав хлорофилла. Этот металл ранее применялся также в фотографии для получения вспышки. Запишите формулу и название этого вещества. Со-

ставьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Алексеев В. Н.* Качественный химический полумикроанализ. М.: Химия. 1973. 584 с.

*Глинка Н. Л.* Общая химия: учебник / под ред. В. А. Попкова, А. В. Бабкова. 18-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Юрайт»; ИД «Юрайт», 2011. 886 с.

*Гринвуд Н., Эршно А.* Химия элементов (в 2 томах): учебник. Изд-во «Бином. Лаборатория знаний», 2015. 1280 с.

*Карпетьянц М. Х., Дракин С. И.* Общая и неорганическая химия: учебник. 5-е изд. Изд-во Книжный дом «Либроком» 2015. 592 с.

*Крешков А. П.* Основы аналитической химии. Ч. 1. Теоретические основы. Качественный анализ. М.: Химия. 1970. 460 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                           | 3  |
| Лабораторная работа № 1. КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА КАТИОНЫ ЖЕЛЕЗА.....                                                                    | 6  |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ.....                                                                                                      | 9  |
| Лабораторная работа № 2. КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ $Co^{2+}$ , $Ni^{2+}$ И $Cu^{2+}$ .....                                           | 10 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ.....                                                                                                      | 14 |
| Лабораторная работа № 3. КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ $Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Zn^{2+}$ .....                                           | 15 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ.....                                                                                                      | 18 |
| Лабораторная работа № 4. РАЗДЕЛЕНИЕ И ОБНАРУЖЕНИЕ КАТИОНОВ $Ag^+$ , $Pb^{2+}$ , $Hg^{2+}$ МЕТОДОМ ОСАДОЧНОЙ БУМАЖНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ..... | 19 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ.....                                                                                                      | 22 |
| Лабораторная работа № 5. ДРОБНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КАТИОНОВ.....                                                                    | 23 |
| ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ».....                                               | 26 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУ-

РЫ.....34

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



Проректор по учебно-методическому комплексу \_\_\_\_\_

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к самостоятельной работе обучающихся

по дисциплине  
**Б1.О.11 ХИМИЯ**

Направление подготовки  
**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

Направленность (профиль)  
**Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов**

Форма обучения: **очная, заочная**  
Год набора: **2022**

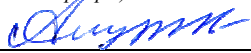
Автор: Зайцева Н.А., доцент, к.х.н.

Одобрены на заседании кафедры

Химии

(название кафедры)

Зав.кафедрой

  
(подпись)

Амдур А.М.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 16.09.2021

(Дата)

Рассмотрены методической комиссией  
факультета

Горно-механического

(название факультета)

Председатель

  
(подпись)

Осипов П.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 12.10.2021

(Дата)

Екатеринбург

## Содержание

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Введение.....                                                                                      | 3         |
| Электролиз водных растворов солей.....                                                             | 5         |
| <i>Примеры решения задач.....</i>                                                                  | <i>10</i> |
| <i>Задачи для самостоятельной работы.....</i>                                                      | <i>18</i> |
| Электролиз расплавов электролитов.....                                                             | 20        |
| Законы Фарадея.....                                                                                | 21        |
| <i>Задачи для самостоятельной работы.....</i>                                                      | <i>23</i> |
| Практическое применение электролиза.....                                                           | 25        |
| Литература.....                                                                                    | 26        |
| Приложение I. Электрохимический ряд напряжений металлов.....                                       | 27        |
| Приложение II. Перенапряжение.....                                                                 | 28        |
| Приложение III. Стандартные электродные потенциалы окислительно –<br>восстановительных систем..... | 29        |



## Введение

Практически нет ни одной отрасли современной техники, где бы не использовался электролиз. В энергетике водород, полученный электролизом, используют для охлаждения генераторов на тепловых и атомных электростанциях. В цветной металлургии электролиз применяется для получения металлов из руд и их рафинирования (получения металлов в чистом виде). В электронной технике электролиз используют для получения ровной и чистой поверхности металлов. Электрохимическим путем наносят металлические покрытия (электролитическое никелирование, хромирование, серебрение, меднение и др.), производят травление полупроводников. Электролиз применяется для создания электрохимических приборов: интеграторов, диодов, различных датчиков. Областей применения электролиза становится все больше и больше, поэтому специалист любого профиля должен понимать сущность этого явления, в основе которого лежит окислительно-восстановительная реакция, и уметь использовать его для решения частных практических задач.

**Электролиз** – процесс раздельного окисления и восстановления, протекающий на электродах при прохождении постоянного электрического тока через раствор или расплав электролита.

Сущность электролиза состоит в осуществлении химической реакции под действием электрического тока, то есть при электролизе происходит превращение электрической энергии в химическую.

Следует отметить, что восстановительное и окислительное действие электрического тока во много раз сильнее действия химических восстановителей и окислителей. Поэтому с помощью электролиза стало возможным получать вещества, которые невозможно было бы получить с помощью обычных окислительно-восстановительных реакций, например, получить силь-

нейший окислитель – фтор из его ионов  $F^-$ , или такие восстановители, как щелочные или щелочноземельные металлы.

## Электролиз водных растворов солей

Согласно теории электролитической диссоциации, вещества с ионной и полярной ковалентной связью при растворении в воде под действием молекул растворителя распадаются на ионы, вследствие чего их растворы становятся проводниками электрического тока 2-го рода. Такие вещества называются **электролитами**. Сильными электролитами являются растворимые соли, распадающиеся в водных растворах на положительно заряженные ионы металлов и отрицательно заряженные ионы кислотных остатков.

Устройство, в котором осуществляют электролиз, называется электролизером. Простейший лабораторный электролизер представляет собой U-образную стеклянную трубку, в которую наливают раствор соли, а в колена помещают электроды, присоединенные к источнику постоянного тока. Таким способом достигается частичное разделение катодного и анодного пространства.

На характер и течение электродных процессов при электролизе большое влияние оказывают состав электролита, растворитель, материал электродов и режим электролиза (напряжение, плотность тока, температура и др.). Прежде всего, надо различать электролиз расплавленных электролитов и их растворов. В последнем случае в электродных процессах будут принимать участие молекулы растворителя – воды.

Электрод, присоединенный к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока (отрицательно заряженный электрод), называется **катодом**. При электролизе к нему будут двигаться положительно заряженные ионы – **катионы**. На катоде происходит процесс присоединения электронов катионами (или атомами, молекулами), то есть **восстановление**.

Положительно заряженный электрод называется **анодом**, к нему движутся отрицательно заряженные частицы – **анионы**, на нем происходит процесс отдачи электронов, то есть **окисление**.

Следует обратить внимание на название электродов: в **гальваническом элементе** отрицательный электрод – анод, а положительный – катод; в **электролизере**, наоборот, отрицательный электрод – катод, а положительный – анод.

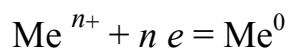
Принципиальное различие между реакциями в гальваническом элементе и электролизере заключается только в их направлении и самопроизвольности. В замкнутой цепи гальванического элемента окислительно-восстановительная реакция протекает самопроизвольно, а в электролизере – только под воздействием электрического тока внешнего источника. Общее в этих процессах состоит в том, что как в гальваническом элементе, так и в электролизере на отрицательном электроде создается избыток электронов, а на положительном – их недостаток. На катоде ионы (или молекулы) восстанавливаются под действием электронов, а на аноде частицы окисляются, отдавая свои электроны электроду.

Используемые электроды могут быть нерастворимыми (инертными, пассивными). К ним относятся угольные или графитовые электроды, а также электроды, изготовленные из металлов, покрытых прочной оксидной пленкой или образующие в данном растворе труднорастворимые соли (платина, титан, иридий, тантал, золото). Растворимые (активные) аноды изготавливаются из цинка, кадмия, никеля, олова, свинца, сурьмы, меди, серебра. Они принимают участие в электродных процессах.

### *Особенности катодных процессов в водных растворах*

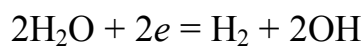
Рассмотрим процессы, которые могут протекать на катоде при электролизе водных растворов солей:

1. При электролизе к катоду будут двигаться катионы металла, которые могут разряжаться, принимая электроны и восстанавливаясь до металла, осаждающегося на электроде.



Для этого нужно приложить потенциал, соответствующий стандартному электродному потенциалу этого металла  $E^0_{\text{Me}^0/\text{Me}^{n+}}$  (см. приложение I, табл. 1).

2. Под действием электрического тока молекулы воды, имеющие дипольное строение, будут ориентироваться положительно заряженным концом диполя у катода. При этом они могут восстанавливаться по уравнению:

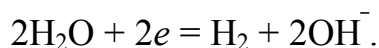


На электроде будет выделяться водород, а в прикатодном пространстве появятся гидроксид-ионы. Значение стандартного окислительно-восстановительного потенциала этого процесса  $E^0_{\text{H}_2/2\text{H}_2\text{O}} = 0,41$  В при  $\text{pH}=7$ . Однако, выделение на катоде газообразного водорода затрудняется из-за *перенапряжения* (см. приложение II) и требует большего потенциала: 0,83 В.

Следует иметь в виду, что из двух возможных катодных процессов наиболее вероятно будет протекать тот, который требует наименьшей затраты энергии, то есть тот процесс, у которого алгебраическая величина стандартного электродного потенциала больше.

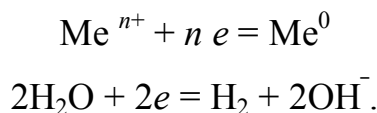
Руководствуясь рядом значений стандартных электродных потенциалов, можно указать три случая:

1. Катионы металлов, имеющих малую алгебраическую величину стандартного электродного потенциала (от  $\text{Li}^+$  до  $\text{Mn}^{2+}$  включительно,  $E^0_{\text{Me}^0/\text{Me}^{n+}} \leq E^0_{\text{Mn}^0/\text{Mn}^{2+}} = 1,05$  В), обладают меньшей окислительной способностью, чем молекулы воды. Поэтому они не восстанавливаются на катоде, а вместо них восстанавливаются молекулы воды:

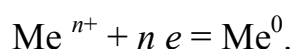


2. Катионы металлов, имеющих стандартный потенциал меньший, чем у водорода ( $E^0_{\text{H}_2/2\text{H}^+} = 0$  при  $\text{pH}=0$ ), но больший, чем у марганца ( $E^0_{\text{Me}^0/\text{Me}^{n+}} >$

$>E^0_{\text{Mn}^0/\text{Mn}^{2+}} = 1,05 \text{ В}$ ) при электролизе восстанавливаются на катоде. И эти металлы могут быть получены электролизом водных растворов их солей. Однако, при этом возможно одновременное восстановление молекул воды:



3. Катионы металлов, имеющие высокие значения электродных потенциалов ( $E^0_{\text{Me}^0/\text{Me}^{n+}} > 0$ , от  $\text{Sb}^{3+}$  до  $\text{Au}^{3+}$ ), при электролизе практически полностью восстанавливаются на катоде:



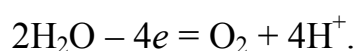
Если к раствору, содержащему катионы различных металлов, приложить постепенно возрастающее напряжение, то электролиз начинается тогда, когда достигается *потенциал осаждения* катиона с самым высоким электродным потенциалом (наиболее положительным). После восстановления этих катионов на катоде начнется выделение катионов другого металла в порядке уменьшения алгебраической величины стандартного электродного потенциала. Таким образом, при электролизе возможно последовательное выделение металлов из раствора, содержащего смесь катионов различных металлов.

### *Особенности анодных процессов в водных растворах*

Характер реакций, протекающих на аноде, зависит не только от природы электролита, присутствия молекул воды, но и от природы вещества, из которого сделан анод.

В случае **нерастворимого анода** возможно протекание следующих процессов:

1. Диполи воды, ориентируясь отрицательно заряженной стороной к аноду, могут окисляться по уравнению:



Стандартный окислительно-восстановительный потенциал этого процесса  $E^0_{2H_2O/O_2} = +1,23 \text{ В}$ , но выделение кислорода происходит с перенапряжением при более высоких значениях потенциала (+1,8 В).

2. Может происходить окисление анионов кислотных остатков, которые под действием приложенного напряжения будут двигаться к аноду. При этом окисление будет происходить тем легче, чем меньше алгебраическая величина окислительно-восстановительного потенциала аниона (см. приложение III, табл. 2).

**Анионы бескислородных кислот**, за исключением фторид-ионов, при их достаточной концентрации окисляются довольно легко, значения их окислительно-восстановительных потенциалов меньше +1,8 В (см. приложение III, табл. 2). Например,  $2Br^- - 2e = Br_2$  ( $E^0_{Br^-/Br_2} = +1,09 \text{ В}$ ). Большинство **анионов кислородсодержащих кислот** (например,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ), кроме ацетат-иона, в водном растворе не разряжаются. Вместо них в нейтральных и кислых растворах происходит разложение воды:  $2H_2O - 4e = O_2 + 4H^+$ , а в щелочных растворах окисление гидроксид-ионов  $4OH^- - 4e = O_2 + 2H_2O$ .

В том случае, когда при электролизе используют металлический **растворимый анод**, наиболее легко будет протекать процесс окисления (растворения) самого анода (см. значения электродных потенциалов металлов, табл. 1):  $Me^0 - ne = Me^{n+}$ . Одновременно на катоде будет происходить процесс восстановления ионов металлов. Таким образом, электролиз с растворимым анодом сводится к переносу металла с анода на катод. Этот процесс применяется для очистки металлов (*электрорафинирование*).

Таким образом, при рассмотрении электролиза водных растворов солей, необходимо учитывать, что в процессе может принимать участие как электролит, так и молекулы растворителя. Продукты восстановления и окисления будут **основными** или **первичными** продуктами электролиза, а в прикатодном и прианодном пространствах будут накапливаться **побочные** или **вторичные** продукты. В том случае, когда при электролизе раствора соли в электродных процессах принимает участие только вода, в прикатодном про-

пространстве накапливается щелочь, а в прианодном пространстве – кислота. Если электролиз проводится в химическом стакане или другом подобном сосуде, растворы кислоты и щелочи смешиваются и электролиз сводится к образованию водорода и кислорода за счет разложения воды. Если же катодное и анодное пространства разделить перегородкой – *диафрагмой*, пропускающей ионы-переносчики тока, но препятствующей смешению приэлектродных растворов, то в качестве вторичных продуктов электролиза можно получить растворы кислоты и щелочи.

### *Примеры решения задач*

Рассмотрим несколько примеров электролиза водных растворов солей.

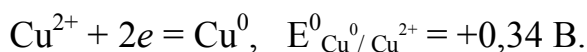
**П р и м е р 1.** Как протекает электролиз водного раствора хлорида меди (II) с инертными угольными электродами?

1. Рассмотрим состав электролита. Для этого запишем уравнение процесса электролитической диссоциации:



2. Определим, какие частицы будут участвовать в **катодном** процессе.

На катоде возможно восстановление ионов меди. Запишем уравнение реакции восстановления и выпишем значение стандартного электродного потенциала (см. приложение I, табл. 1):



(1.1)

Поскольку электролизу подвергается **раствор** электролита, на катоде также возможно восстановление молекул воды:

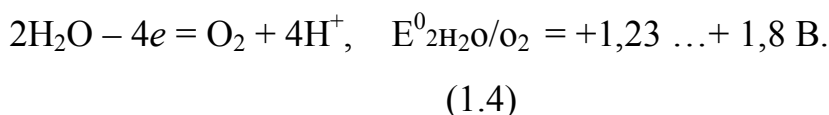
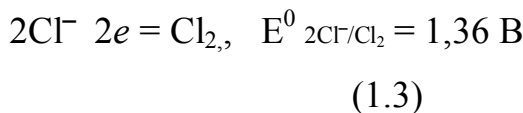


(1.2)

Большой окислительной способностью обладают ионы меди (значение стандартного электродного потенциала более положительное), поэтому на катоде будет протекать процесс (1.1).

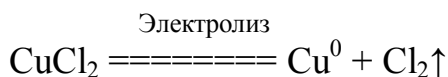
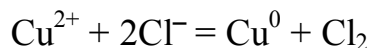
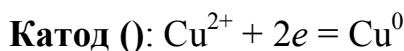
3. Определим, какие частицы будут участвовать в **анодном** процессе.

На инертном аноде возможно окисление хлорид-ионов и окисление молекул воды. Запишем уравнения соответствующих реакций окисления и выпишем значения их окислительно-восстановительных потенциалов (см. приложение III, табл. 2):



Так как перенапряжение выделения кислорода велико, окисление хлорид-ионов происходит легче (сравните электродные потенциалы:  $E^0_{2\text{Cl}^-/\text{Cl}_2} = 1,36 \text{ В} \ll E_{2\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2} = +1,8 \text{ В}$ , потенциала разряжения молекул воды). Следовательно, на аноде будет выделяться хлор (процесс (1.3)).

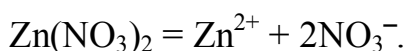
4. Составим суммарное ионное уравнение и от него перейдем к молекулярному уравнению окислительно-восстановительной реакции, протекающей при электролизе раствора хлорида меди.



Таким образом, из этого уравнения следует, что в процессе электролиза водного раствора хлорида меди принимает участие только электролит.

**П р и м е р 2.** Как протекает электролиз водного раствора нитрата цинка с инертными графитовыми электродами?

1. Рассмотрим состав электролита:

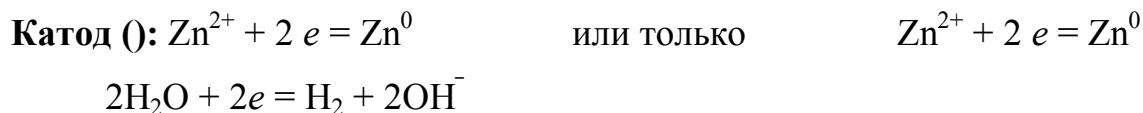


2. Определим, какие частицы будут участвовать в **катодном** процессе.

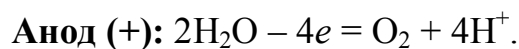
На катоде возможно восстановление ионов цинка и восстановление молекул воды. Для выбора процесса выпишем из таблицы значение стандартного электродного потенциала:  $E^0_{\text{Zn}^0/\text{Zn}^{2+}} = 0,76 \text{ В}$ . По величине  $E^0$  цинк отно-



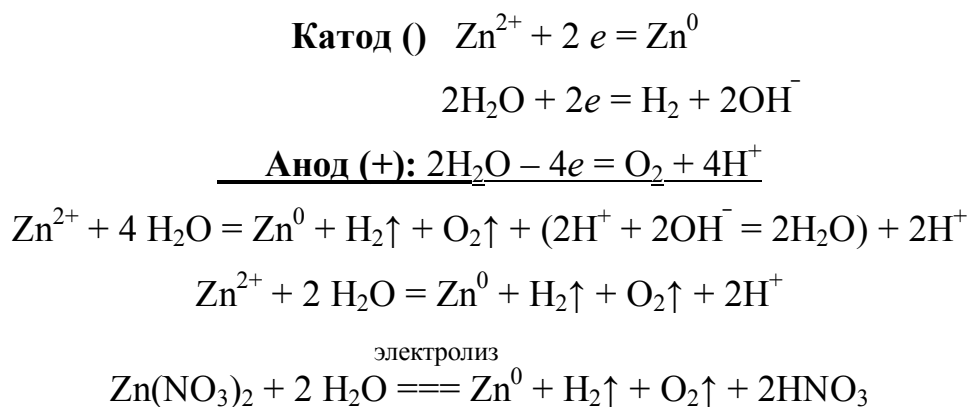
сится к группе металлов, катионы которых участвуют в катодном процессе:  $E^0 > 1,05\text{В}$  (потенциала выделения марганца). Одновременно будет происходить восстановление молекул воды. Изменяя условия протекания электролиза, можно добиться преимущественного осаждения металла.



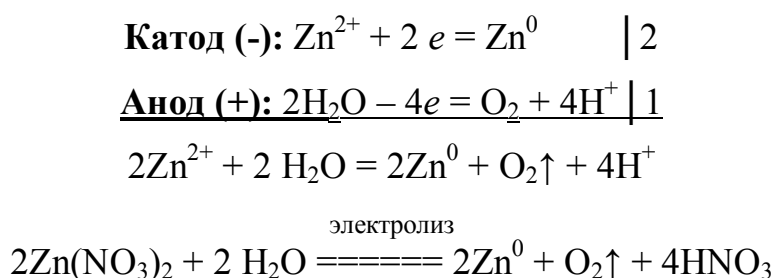
3. Определим **анодный** процесс. Электроды – инертные, следовательно, на аноде будет протекать окисление анионов кислотных остатков или молекул воды. Ион  $\text{NO}_3^-$  является анионом кислородсодержащей кислоты. Такие анионы не принимают участие в анодных процессах. Следовательно, на аноде будет протекать окисление молекул воды:



4. Запишем суммарное уравнение электролиза нитрата цинка.



или



Таким образом, путем электролиза раствора нитрата цинка можно получить цинк, кислород и вторичный продукт электролиза – азотную кислоту, которая накапливается в прианодном пространстве.

Пример 3. Как протекает электролиз водного раствора сульфата калия с платиновыми электродами?

1. Рассмотрим состав электролита. Для этого запишем уравнение процесса электролитической диссоциации:



2. Определим, какие частицы будут участвовать в **катодном** процессе.

На катоде возможно протекание следующих процессов: восстановления ионов калия и восстановления молекул воды. Запишем уравнения реакции восстановления и выпишем значение стандартного электродного потенциала (см. приложение I, табл. 1)



(3.1)

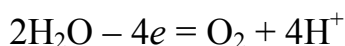


(3.2)

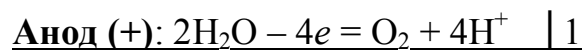
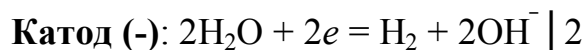
Так как  $E_{\text{K}^0/\text{K}^+}^0 < E_{\text{H}_2/2\text{H}_2\text{O}}^0$ , следовательно, ионы калия более слабые окислители, поэтому на катоде будет протекать процесс (3.2).

3. Определим, какие частицы будут участвовать в **анодном** процессе.

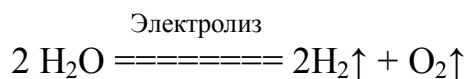
Так как анионы кислородсодержащих кислот не принимают участие в электродном процессе, на инертном платиновом аноде будет происходить окисление молекул воды.



4. Составим суммарное ионное уравнение и от него перейдем к молекулярному уравнению окислительно-восстановительной реакции, протекающей при электролизе раствора сульфата калия.



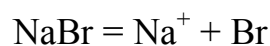
Если катодное и анодное пространства не разделены диафрагмой, то при перемешивании ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  взаимодействуют и образуют воду. Поэтому окончательное уравнение будет иметь вид:



Таким образом, из этого уравнения следует, что процесс электролиза водного раствора сульфата калия сводится к электролизу воды, а количество растворенной соли остается неизменным, ее роль сводится лишь к созданию токопроводящей среды.

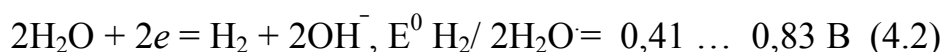
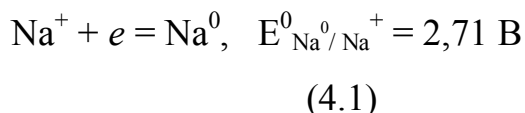
**П р и м е р 4.** Как протекает электролиз водного раствора бромида натрия с инертными иридиевыми электродами?

1. Рассмотрим состав электролита. Для этого запишем уравнение процесса электролитической диссоциации:



2. Определим, какие частицы будут участвовать в **катодном** процессе.

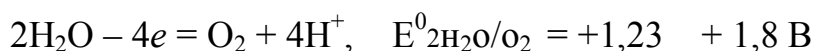
На катоде возможно протекание следующих процессов: восстановления ионов натрия и восстановления молекул воды. Запишем уравнения реакции восстановления и выпишем значение стандартного электродного потенциала (см. приложение I, табл. 1).



Так как  $E^0_{\text{Na}^0/\text{Na}^+} < E^0_{\text{H}_2/2\text{H}_2\text{O}}$ , следовательно, ионы натрия более слабые окислители, поэтому на катоде будет протекать процесс (4.2).

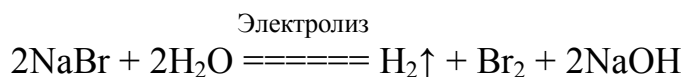
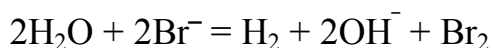
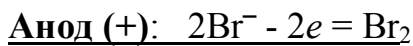
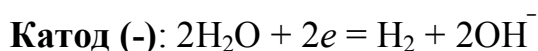
3. Определим, какие частицы будут участвовать в **анодном** процессе.

На инертном аноде возможно окисление бромид-ионов и окисление молекул воды. Запишем уравнения соответствующих реакций окисления и выпишем значения их окислительно-восстановительных потенциалов (см. приложение III, табл. 2).



Окисление бромид-ионов протекает легче, так как  $E^0_{2\text{Br}^-/\text{Br}_2} < E^0_{2\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2}$ , следовательно, на аноде будет выделяться бром.

4. Составим суммарное ионное уравнение и от него перейдем к молекулярному уравнению окислительно-восстановительной реакции, протекающей при электролизе раствора бромида калия.



Таким образом, при электролизе водного раствора бромида натрия образуется водород, бром и побочный продукт электролиза – щелочь (NaOH).

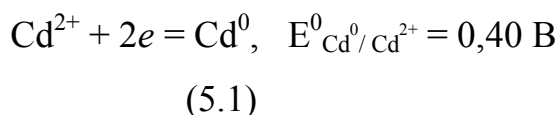
**Пример 5.** Как протекает электролиз водного раствора нитрата кадмия  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  с анодом из кадмия?

1. Рассмотрим состав электролита. Для этого запишем уравнение процесса электролитической диссоциации:

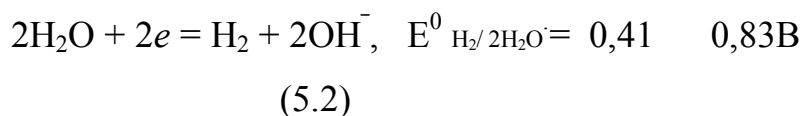


2. Определим, какие частицы будут участвовать в **катодном** процессе.

На катоде возможно восстановление ионов кадмия. Запишем уравнение реакции восстановления и выпишем значение стандартного электродного потенциала (см. приложение I, табл.1)



Поскольку электролизу подвергается раствор электролита, на катоде также возможно восстановление молекул воды

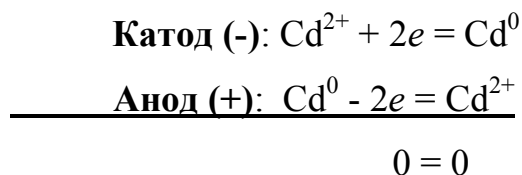


Большой окислительной способностью обладают ионы кадмия (значение стандартного электродного потенциала более положительное), поэтому на катоде будет протекать процесс (5.1).

3. Определим, какие частицы будут участвовать в **анодном** процессе, принимая во внимание, что анод сделан из кадмия. Анионы кислородсодер-

жащих кислот не принимают участие в анодных процессах. Поэтому на аноде возможно окисление молекул воды и окисление материала анода – кадмия. Последний процесс требует меньше энергии: сравните стандартные электродные потенциалы  $E^0_{\text{Cd}^0/\text{Cd}^{2+}} = 0,40 \text{ В} < E^0_{2\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2} = +1,23 \text{ В}$ . Следовательно, при электролизе будет происходить анодное растворение металла.

4. Запишем уравнения катодного и анодного процессов:



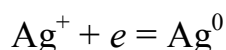
При суммировании этих процессов не получается общее уравнение электролиза. Это говорит о том, что в данном случае процесс сводится к анодному окислению кадмия и катодному восстановлению его ионов, то есть переносу кадмия с анода на катод.

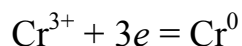
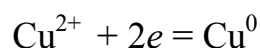
**Пример 6.** В какой последовательности будут восстанавливаться ионы металлов при пропускании электрического тока через раствор, содержащий нитраты серебра, алюминия, хрома (III) и меди (II)?

Раствор этих солей содержит катионы  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , образовавшиеся в результате электролитической диссоциации. Эти ионы должны восстанавливаться на катоде в порядке уменьшения их окислительной активности. Количественной характеристикой окислительно-восстановительной активности вещества является величина стандартного электродного потенциала. Окислительная активность катионов будет уменьшаться в порядке уменьшения алгебраической величины их стандартных электродных потенциалов.

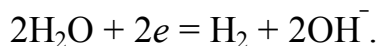
1. Выпишем из таблицы значения  $E^0_{\text{Me}^0/\text{Me}^{n+}}$  (см. приложение I, табл. 1).  
 $E^0_{\text{Ag}^0/\text{Ag}^+} = +0,80 \text{ В}$ ;  $E^0_{\text{Al}^0/\text{Al}^{3+}} = 1,67 \text{ В}$ ;  $E^0_{\text{Cr}^0/\text{Cr}^{3+}} = 0,71 \text{ В}$ ;  $E^0_{\text{Cu}^0/\text{Cu}^{2+}} = +0,34 \text{ В}$ .

2. Сравним эти величины:  $E^0_{\text{Ag}^0/\text{Ag}^+} > E^0_{\text{Cu}^0/\text{Cu}^{2+}} > E^0_{\text{Cr}^0/\text{Cr}^{3+}} > E^0_{\text{Al}^0/\text{Al}^{3+}}$ , следовательно, легче всего будут восстанавливаться катионы серебра, затем ионы меди и хрома:





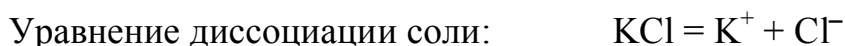
Катионы алюминия никогда не будут восстанавливаться на **катоде** при электролизе водных растворов, так как  $E^0_{\text{Al}^0/\text{Al}^{3+}} < 0,83 \text{ В}$  – потенциала, при котором восстанавливаются молекулы воды:



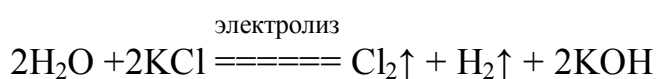
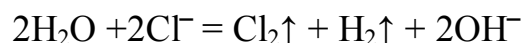
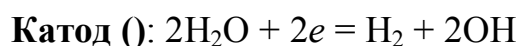
**Пример 7.** При электролизе водного раствора соли значение pH в приэлектродном пространстве одного из электродов возросло. Раствор какой соли при этом подвергался электролизу: а) KCl; б) Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ?

Рассмотрим электролиз растворов этих солей, то есть определим, какие частицы будут участвовать в катодном и анодном процессах, и составим суммарное уравнение соответствующей окислительно-восстановительной реакции, протекающей при электролизе.

а) соль KCl



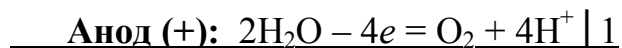
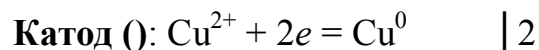
При электролизе раствора этой соли на катоде будет происходить восстановление молекул воды (см. выбор катодного процесса в примере 3), а на аноде – окисление хлорид-ионов (см. выбор анодного процесса в примере 1).

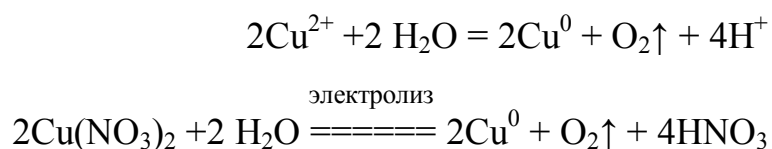


б) соль Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>



При электролизе раствора этой соли на катоде будет происходить восстановление ионов меди (см. выбор катодного процесса в примере 1), а на аноде – окисление молекул воды (см. выбор анодного процесса в примере 2).





Значение pH водного раствора повышается в том случае, когда в растворе появляются гидроксид-ионы. Следовательно, электролизу подвергался раствор хлорида калия, так как только в этом случае в прикатодном пространстве образуется основание KOH.

### Задачи для самостоятельной работы

1. Как протекает электролиз водных растворов веществ с инертными электродами? Запишите катодный и анодный процессы, составьте итоговое уравнение электролиза.

| Номер варианта | Вещество                                        | Номер варианта | Вещество                                        | Номер варианта | Вещество                          |
|----------------|-------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| 1              | KMnO <sub>4</sub>                               | 8              | BeSO <sub>4</sub>                               | 15             | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>    |
| 2              | K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>   | 9              | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 | 16             | K <sub>2</sub> S                  |
| 3              | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                 | 10             | HF                                              | 17             | MgCl <sub>2</sub>                 |
| 4              | CuCl <sub>2</sub>                               | 11             | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                  | 18             | CoBr <sub>2</sub>                 |
| 5              | Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 12             | ZnCl <sub>2</sub>                               | 19             | Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> |
| 6              | K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                 | 13             | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 20             | NaHSO <sub>3</sub>                |
| 7              | NiSO <sub>4</sub>                               | 14             | Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>               |                |                                   |

2. Покажите, используя значения стандартных электродных потенциалов, в какой последовательности будут восстанавливаться ионы металлов при пропускании электрического тока через раствор, содержащий следующие соли:

| Номер варианта | Соли                                                                                     | Номер варианта | Соли                                                                    |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1              | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , KNO <sub>3</sub> , Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 11             | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , |

|    |                                                                |    |                                                                |
|----|----------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------|
|    |                                                                |    | $\text{Co(NO}_3)_2$                                            |
| 2  | $\text{AgNO}_3, \text{Mg(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$     | 12 | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{Ni(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$ |
| 3  | $\text{NaNO}_3, \text{Mg(NO}_3)_2,$<br>$\text{Co(NO}_3)_2$     | 13 | $\text{Zn(NO}_3)_2, \text{Mg(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$ |
| 4  | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{Al(NO}_3)_3,$<br>$\text{AgNO}_3$     | 14 | $\text{Ca(NO}_3)_2, \text{Ni(NO}_3)_2,$<br>$\text{Hg(NO}_3)_2$ |
| 5  | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{LiNO}_3,$<br>$\text{Cr(NO}_3)_3$     | 15 | $\text{Al(NO}_3)_3, \text{Mn(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$ |
| 6  | $\text{Hg(NO}_3)_2, \text{Mn(NO}_3)_2,$<br>$\text{RbNO}_3$     | 16 | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{CsNO}_3, \text{Hg(NO}_3)_2$          |
| 7  | $\text{Ni(NO}_3)_2, \text{La(NO}_3)_3,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$ | 17 | $\text{Co(NO}_3)_2, \text{Fe(NO}_3)_2, \text{Cr(NO}_3)_3$      |
| 8  | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{Mn(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cd(NO}_3)_2$ | 18 | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{Mg(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$ |
| 9  | $\text{Sn(NO}_3)_2, \text{AgNO}_3,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$     | 19 | $\text{Bi(NO}_3)_3, \text{Fe(NO}_3)_2,$<br>$\text{Al(NO}_3)_3$ |
| 10 | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{Al(NO}_3)_3,$<br>$\text{TlNO}_3$     | 20 | $\text{Pb(NO}_3)_2, \text{Mg(NO}_3)_2,$<br>$\text{Cu(NO}_3)_2$ |

3. При электролизе водного раствора соли значение pH в приэлектродном пространстве одного из электродов уменьшилось. Раствор какой из двух солей при этом подвергался электролизу? Ответ обоснуйте.

| Номер варианта | Соли                                        | Номер варианта | Соли                                              |
|----------------|---------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|
| 1              | а) $\text{NaCl}$ ; б) $\text{Cu(NO}_3)_2$   | 11             | а) $\text{K}_2\text{S}$ ; б) $\text{Pb(NO}_3)_2$  |
| 2              | а) $\text{CuCl}_2$ ; б) $\text{AgNO}_3$     | 12             | а) $\text{LiCl}$ ; б) $\text{Ni(NO}_3)_2$         |
| 3              | а) $\text{KCl}$ ; б) $\text{CuSO}_4$        | 13             | а) $\text{NaBr}$ ; б) $\text{CoSO}_4$             |
| 4              | а) $\text{AlCl}_3$ ; б) $\text{Co(NO}_3)_2$ | 14             | а) $\text{Na}_2\text{S}$ ; б) $\text{Ni(NO}_3)_2$ |
| 5              | а) $\text{KI}$ ; б) $\text{BeSO}_4$         | 15             | а) $\text{CaCl}_2$ ; б) $\text{Co(NO}_3)_2$       |

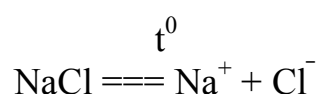


|    |                                                             |    |                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------|
| 6  | a) NaI; б) NaNO <sub>3</sub>                                | 16 | a) NaHS; б) NiSO <sub>4</sub>                               |
| 7  | a) KBr; б) CuSO <sub>4</sub>                                | 17 | a) KI; б) KF                                                |
| 8  | a) KF; б) CuCl <sub>2</sub>                                 | 18 | a) KCl; б) Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>                |
| 9  | a) NaCl; б) AgNO <sub>3</sub>                               | 19 | a) NaBr; б) NaF                                             |
| 10 | a) NiCl <sub>2</sub> ; б) Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 20 | a) MgCl <sub>2</sub> ; б) Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> |

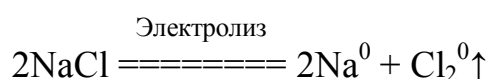
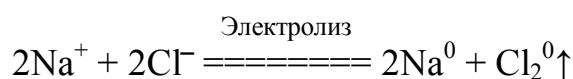
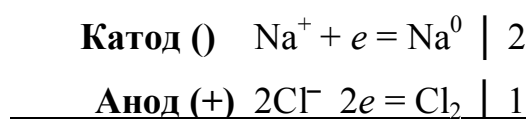
## Электролиз расплавов электролитов

Все вышеизложенные закономерности электролиза распространяются и на электролиз расплавов электролитов. Отсутствие в этом случае воды сказывается на характере электродных процессов. Простейшим примером такого электролиза может служить электролиз расплава хлорида натрия с применением нерастворимых электродов.

Известно, что расплавы солей являются сильными электролитами и при высоких температурах полностью диссоциируют на ионы.



При электролизе расплава на катоде будет происходить процесс восстановления ионов  $\text{Na}^+$ , а на аноде – процесс окисления ионов  $\text{Cl}^-$ . При сложении уравнений двух электродных процессов получается суммарное уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей при электролизе расплава  $\text{NaCl}$ .

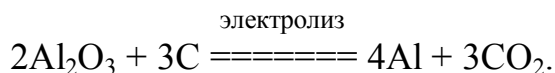


Таким образом, при электролизе расплава хлорида натрия получается металлический натрий и хлор. Если применять растворимый электрод, то и в расплавах может происходить анодное растворение металла.

Электролизом в расплавах получают активные щелочные и щелочно-земельные металлы: литий, калий, магний и др., которые не могут быть получены в водных растворах.

Весь производимый промышленностью алюминий получают электролизом расплава боксита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n=1,2,3$ ) в смеси с криолитом  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Алюминий восстанавливается на катоде, а анод, изготовленный из угля,

окисляется до углекислого газа, то есть в целом под действием электрического тока происходит реакция:



## Законы Фарадея

Количество вещества, выделившегося при электролизе, может быть определено с помощью законов Фарадея.

**Первый закон Фарадея:** масса веществ, выделившихся на электродах при электролизе, прямо пропорциональна количеству электричества, прошедшему через раствор или расплав электролита.

**Второй закон Фарадея:** масса веществ, выделяющихся на электродах при прохождении через растворы или расплавы электролитов одинакового количества электричества, прямо пропорциональна их химическим эквивалентам.

Другими словами, для выделения на электроде одного эквивалента любого вещества необходимо затратить одно и то же количество электричества, равное *постоянной Фарадея*  $F = 96485$  Кл/моль ( $\approx 96500$  Кл/моль). Именно такое количество электричества необходимо, чтобы восстановить  $N_A$  (число Авогадро)  $= 6,02 \cdot 10^{23}$  однозарядных ионов. **Молярная масса эквивалента**  $M_{\text{Э}}$  (г/моль) равна атомной массе элемента, деленной на величину заряда иона в соединении. **Электрохимическим эквивалентом** вещества называют величину  $E = M_{\text{Э}}/F$ . Данная величина характеризует массу вещества, окисляющегося или восстанавливающегося на электродах при прохождении через электролит 1Кл электричества.

Законы Фарадея можно объединить в следующей формуле:

$$m = \frac{M_{\text{Э}} \cdot Q}{F} \quad \text{или} \quad m = \frac{M_{\text{Э}} \cdot I \cdot t}{F},$$

где  $m$  – масса вещества, выделившегося на электроде, г;  
 $M_э$  – молярная масса эквивалента вещества, г/моль;  
 $I$  – сила тока, А;  
 $t$  – продолжительность электролиза, с;  
 $Q$  – количество электричества, прошедшего через электролит, Кл;  $Q = I \cdot t$

$F$  – постоянная Фарадея,  $F = 96500$  Кл/моль = 26,8 А · ч/моль .

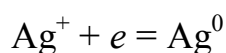
Следует учитывать, что при практическом проведении электролиза возможно протекание побочных процессов, например: взаимодействие образовавшегося вещества с электродом или электролитом, выделение наряду с металлом водорода и др., поэтому действительный расход количества электричества обычно превышает его количество, рассчитанное по законам Фарадея. В связи с этим введено понятие «выход по току» ( $A_m$ , % или  $\eta$ , %). Это отношение массы действительно получаемого вещества ( $m_{эксп.}$ ) к массе, теоретически вычисленной, то есть  $A_m = (m_{эксп.} / m_{теор.}) \cdot 100$  %,

$$A_T = \frac{m_{эксп.} \cdot 96500}{M_э \cdot I \cdot t} \cdot 100 \%$$

#### *Пример решения задачи*

Через раствор  $\text{AgNO}_3$  пропускался ток силой в 5 А в течение 15 мин. Масса выделившегося серебра 5,01 г. Какому выходу по току это соответствует?

По условию задачи нам известна масса серебра, фактически выделившегося при электролизе. Следовательно, для того чтобы определить выход по току, мы должны вычислить массу серебра, которая теоретически должна была выделиться на катоде.



Записываем математическое выражение закона Фарадея:

$$m = \frac{M_э \cdot I \cdot t}{F}$$

## *F*

Из условий задачи нам известны сила тока  $I = 5 \text{ А}$  и время пропускания тока  $t = 15 \text{ мин} = 0,25 \text{ час}$ . Молярная масса эквивалента серебра равна атомной массе серебра, деленной на число электронов, принимающих участие в катодном процессе.

$$M_e = A(\text{Ag}) / 1 = 107,87 \text{ г/моль}$$

Определяем массу серебра, которое теоретически должно выделиться на катоде. Используем значение числа Фарадея, выраженное в  $\text{А} \cdot \text{ч} / \text{моль}$ .

$$m_{\text{Ag}}^{\text{теор.}} = 107,87 \cdot 5 \cdot 0,25 / 26,8 = 5,03 \text{ г}$$

Считаем выход по току:  $A_m = (m_{\text{Ag}}^{\text{эксп.}} / m_{\text{Ag}}^{\text{теор.}}) \cdot 100 \% = (5,01 / 5,03) \cdot 100 \% = 99,6 \%$ . Таким образом, выход по току составляет 99,6 %.

### **Задачи для самостоятельной работы**

1. Определите объём газа (н.у.), выделившегося на аноде при электролизе раствора серной кислоты, производившегося в течение 10 мин при силе тока 1,5А.
2. При прохождении через раствор сульфата никеля (II) тока силой 2А масса катода увеличилась на 2,4г. Рассчитайте время электролиза, если выход по току равен 0,8.
3. При электролизе водного раствора хлорида цинка на катоде выделился цинк массой 68,25 г, а на аноде – газ объемом 28,22 л (н.у.). Определите выход цинка, если выход хлора составил 90% от теоретически возможного.
4. При электролизе водного раствора нитрата серебра (I) на аноде выделилось 13,44 л кислорода (н.у.). Определите массу выделившегося на катоде серебра, если выход серебра составил 90% от теоретически возможного, а выход кислорода – количественный
5. Определите массу и объём газа (н.у.), выделившегося на аноде при электролизе раствора соляной кислоты, производившегося в течение 10 мин при силе тока 1,5 А. Выход по току равен 0,85.

6. Определите массу и объём газа (н.у.), выделившегося на катоде при электролизе раствора соляной кислоты, производившегося в течение 5 мин при силе тока 0,5 А. Выход по току равен 0,75.
7. При прохождении через раствор  $\text{NiSO}_4$  тока силой 2 А масса катода увеличилась на 2,4 г. Рассчитайте время электролиза и объём выделившегося на аноде газа (н.у.).
8. Определите массу сульфата меди, помещенного в электролизёр, если при электролизе его водного раствора выделился кислород объёмом 5,71 (н.у.).
9. Какая масса цинка выделится при электролизе  $\text{ZnCl}_2$  за полчаса при силе тока  $I = 110$  мА? Определите массу выделившегося газа на другом электроде.
10. При электролизе раствора хлорида меди (II) на катоде выделилась медь массой 12,7 г. Вычислите объём газа (н.у.), выделившегося на аноде.
11. При электролизе водного раствора нитрата серебра (I) на аноде выделилось 13,44 л кислорода (н.у.). Определите массу выделившегося на катоде серебра.
12. Какая масса цинка выделится при электролизе  $\text{ZnCl}_2$  за 8 часов при силе тока  $I = 110$  мА? На каком электроде (катоде или аноде) происходит выделение металла?
13. Какая масса газа выделится при электролизе  $\text{ZnCl}_2$  за 10 минут при силе тока  $I = 150$  мА? Выход по току 90% .
14. Какая масса хлора выделится при электролизе  $\text{ZnCl}_2$  за 5 часов при силе тока  $I = 100$  мА? Выход по току 80%.
15. Какой объём газа выделится при электролизе  $\text{ZnCl}_2$  за 30 минут при силе тока  $I = 0,2$  А? Выход по току 75% .
16. При электролизе водного раствора нитрата серебра (I) на аноде выделилось 22,4 л газа (н.у.). Определите массу выделившегося на катоде серебра.

17. Определите массу  $\text{CuSO}_4$ , помещенного в электролизёр, если при электролизе его водного раствора выделился кислород объемом 5,71 (н.у.), выход которого ставил 85% от теоретически возможного.
18. Через электролизер, содержащий раствор гидроксида калия объемом 300мл с массовой долей вещества 22,4% (плотность 1,2 г/мл), пропустили электрический ток. Рассчитайте массовую долю гидроксида калия в растворе после отключения тока, если известно, что на катоде выделился газ объемом 89,6л (н.у.).
19. При электролизе 16г расплава некоторого соединения водорода с одновалентным элементом на аноде выделился водород количеством вещества 1 моль. Установите формулу вещества, взятого для электролиза
20. При действии постоянного тока силой 6,4 А на расплав соли трехвалентного металла на катоде в течение 30 мин выделилось 1,07г металла, а аноде – 1344 мл. (н.у.) газа, относительная плотность паров которого по гелию составляет 17,75. Определите состав соли, расплав которой подвергли электролизу.

### **Практическое применение электролиза**

Электролиз используют в различных областях современной техники. Приведем несколько основных направлений применения.

**Получение активных металлов.** Такие активные металлы, как натрий, литий, магний, алюминий, бериллий, кальций, а также сплавы некоторых металлов, получают электролизом расплавов их соединений.

**Электрорафинирование металлов.** Для очистки (рафинирования) металлов (меди, золота, серебра, никеля, кадмия и др.) их отливают в пластины, которые используют в качестве анода, катод же изготавливается из чистого металла, электролитом служит водный раствор соли металла. Процесс сводится к растворению анода в процессе электролиза и осаждению чистого металла на катоде. При этом примеси, находящиеся в аноде, либо остаются нерастворимыми (анодный *шлам*), либо переходят в электролит, но на катоде не осаждаются. Например, при электрорафинировании меди электролитом служит

раствор сульфата меди и серной кислоты, анод изготавливают из неочищенной (черновой) меди. При электролизе загрязнения из более благородных металлов (Ag, Au) в раствор не переходят и собираются на дне электролизера. Загрязнения из менее благородных металлов (Pb, Fe, Zn), как и сама медь, переходят в раствор, но на катоде не осаждаются и поэтому не загрязняют осаждающуюся на нем медь. Электрорафинированием получают также чистые никель, кадмий, алюминий и другие металлы.

**Гальванопластика.** Электролиз с растворимым анодом используется в гальванотехнике для покрытий одних металлов тонкими слоями других. При этом покрываемое металлом изделие является при электролизе катодом, а в качестве анода используется металл покрытия. Так, хромирование применяют для увеличения твердости поверхностного слоя, а также повышения коррозионной стойкости черных металлов. Никелирование используют для изменения внешнего вида изделия и т. п. Иногда нанесение многослойных покрытий применяют с целью уменьшения расходов дорогих металлов. Например, прочное и стойкое покрытие внешних деталей автомобиля достигается нанесением тонких слоев меди, никеля, а затем хрома.

**Электрохимическая обработка поверхности металлов** может быть использована для полировки поверхности, электрохимического окрашивания, заточки режущих инструментов и т. д.

## Литература

1. *Глинка, Н.Л.* Общая химия. М.: Кнорус, 2016. 752 с.
2. *Зайцев О.С.* Химия. Современный краткий курс. М.: Агар, 1997. 416с.
3. *Общая химия* / под. ред. Соколовской Е.М., Вовченко Г.Д., Гузея Л.С. М: Изд-во Московского ун-та, 1980. 725с.
4. *Угай Я.А.* Общая и неорганическая химия. М.: Высшая школа, 1997. 526с.



5. *Федорова Л.М.*. Основные понятия и прикладные аспекты курса общей химии в вопросах и задачах. Екатеринбург: изд-во УГПШУ, 2001. 92с.
6. *Химия: Справочное издание* / В.Шретер, К.-Х. Лаутеншлегер, Х. Бибрах и др.: пер. с нем. М.: Химия, 1989. 648 с.

## Электрохимический ряд напряжений металлов

Электрохимический ряд напряжений металлов – это ряд стандартных электродных потенциалов металлов, расположенных в порядке их возрастания.

Таблица 1  
Стандартные электродные потенциалы металлов

| Элемент  | Электродная реакция                                    | $E^0$ , В | Элемент  | Электродная реакция                                      | $E^0$ , В |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| Цезий    | $\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}^0$     | -3,08     | Кадмий   | $\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}^0$   | -0,40     |
| Литий    | $\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}^0$     | -3,02     | Таллий   | $\text{Tl}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Tl}^0$       | -0,34     |
| Рубидий  | $\text{Rb}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}^0$     | -2,99     | Кобальт  | $\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}^0$   | -0,28     |
| Калий    | $\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}^0$       | -2,92     | Никель   | $\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}^0$   | -0,25     |
| Барий    | $\text{Ba}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ba}^0$ | -2,90     | Олово    | $\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^0$   | -0,14     |
| Стронций | $\text{Sr}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sr}^0$ | -2,89     | Свинец   | $\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}^0$   | -0,13     |
| Кальций  | $\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}^0$ | -2,87     | Водород  | $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2$       | 0,00      |
| Натрий   | $\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}^0$     | -2,71     | Сурьма   | $\text{Sb}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Sb}^0$   | +0,20     |
| Лантан   | $\text{La}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{La}^0$ | -2,37     | Висмут   | $\text{Bi}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Bi}^0$   | +0,23     |
| Магний   | $\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}^0$ | -2,34     | Медь     | $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}^0$   | +0,34     |
| Бериллий | $\text{Be}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Be}^0$ | -1,70     | Серебро  | $\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}^0$       | +0,80     |
| Алюминий | $\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}^0$ | -1,67     | Палладий | $\text{Pd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pd}^0$   | +0,83     |
| Титан    | $\text{Ti}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ti}^0$ | -1,63     | Ртуть    | $\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}^0$ | +0,79     |
| Марганец | $\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^0$ | -1,05     | Ртуть    | $\text{Hg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}^0$   | +0,85     |
| Цинк     | $\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}^0$ | -0,76     | Платина  | $\text{Pt}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pt}^0$   | +1,20     |
| Хром     | $\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}^0$ | -0,71     | Золото   | $\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}^0$   | +1,50     |
| Железо   | $\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^0$ | -0,44     | Золото   | $\text{Au}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Au}^0$       | +1,68     |

**Стандартный электродный потенциал** – это электродный потенциал, определенный при стандартных условиях: концентрация (точнее, активность) ионов металла в растворе равна 1 г-ион /л при температуре 25 °С (298 °К), измеренный по отношению к стандартному водородному электроду сравнения. Обозначается обычно  $E^0$  ( $\varphi^0$ ), измеряется в вольтах (В). Стандартные электродные потенциалы являются количественной характеристикой восстановительной способности атомов металлов и окислительной способности ионов этих металлов. Чем более отрицательное значение  $E^0_{\text{Me}^{+n}/\text{Me}^0}$ , тем более сильной восстановительной способностью обладают металлы, а их ионы являются слабыми окислителями. Напротив, чем более положительное значение  $E^0_{\text{Me}^{+n}/\text{Me}^0}$ , тем более сильной окислительной способностью обладают ионы металла, а атомы металла являются слабыми восстановителями

### Перенапряжение

**Перенапряжением** называют разность между реальным минимальным напряжением (внешней электродвижущей силой, ЭДС), которое нужно приложить к электродам для разрядки ионов, и теоретически рассчитанной из электродных потенциалов ЭДС соответствующей реакции.

Величина перенапряжения зависит от различных факторов: формы электродов, состояния их поверхности, плотности тока, температуры раствора, интенсивности перемешивания раствора и др. Особенно сильно на величину перенапряжения влияют природа выделяющегося вещества и материал электрода. Наиболее велико перенапряжение при образовании газообразных продуктов, особенно кислорода. Например, перенапряжение выделения *кислорода* на аноде из черненой платины достигает 0,3 В, на блестящей платине 0,5 В. Перенапряжение выделения *водорода* на катоде из черненой платины – 0,0 В, на свинце – 0,6 В. Перенапряжение для *хлора, брома и иода* – незначительно.

Перенапряжение может играть двойственную роль. С одной стороны, оно приводит к повышенному расходу электроэнергии, с другой стороны, благодаря перенапряжению удается осаждать из водных растворов многие металлы, которые по значениям их стандартных электродных потенциалов осаждаться не должны: Fe, Pb, Sn, Ni, Co, Zn, Cr. Используя перенапряжение, а также влияние концентрации раствора на электродный потенциал, становятся возможны электролитическое хромирование и никелирование железных изделий, а на ртутном электроде удается получить из водного раствора даже натрий.

Разряжение в водном растворе ионов  $\text{Cl}^-$ , а не  $\text{OH}^-$  в растворах с высокой концентрацией электролита объясняется перенапряжением кислорода, однако для разряжения ионов  $\text{F}^-$  и выделения свободного фтора этого перенапряжения оказывается недостаточно.

## Стандартные электродные потенциалы окислительно-восстановительных систем

Для любой окислительно-восстановительной полуреакции можно определить стандартный электродный потенциал, составляя гальванический элемент, в котором одним полуэлементом является инертный электрод, погруженный при 25°C в исследуемую окислительно-восстановительную смесь с концентрациями (точнее, активностями) окисленной и восстановленной форм равными 1 г-ион/л, а другим полуэлементом – стандартный водородный электрод

Таблица 2

### Окислительно-восстановительные потенциалы некоторых систем (инертный электрод – платина)

| Окисленная форма                            | Восстановленная форма         | Уравнение реакции                                                       | $E^0$ , В |
|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| H <sub>2</sub> O                            | H <sub>2</sub>                | $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ | -0,40*    |
| O <sub>2</sub>                              | OH <sup>-</sup>               | $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$ | +0,40     |
| J <sub>2</sub>                              | 2J <sup>-</sup>               | $\text{J}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{J}^-$                        | +0,54     |
| Br <sub>2</sub>                             | 2Br <sup>-</sup>              | $\text{Br}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$                      | +1,09     |
| O <sub>2</sub>                              | H <sub>2</sub> O              | $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$  | +1,23**   |
| Cl <sub>2</sub>                             | 2Cl <sup>-</sup>              | $\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$                      | +1,36     |
| S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$   | +2,01     |
| F <sub>2</sub>                              | 2F <sup>-</sup>               | $\text{F}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{F}^-$                        | +2,87     |

\* с учетом перенапряжения может достигать ( 0,82 В).

\*\* с учетом перенапряжения может достигать (+1,8 В).

Министерство науки и высшего образования РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому  
комплексу \_\_\_\_\_ С.А.Упоров

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

### Б1.О.15 РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ

Направление подготовки

*15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств*

Профиль

*Автоматизация технологических процессов и производств  
в горной промышленности*

форма обучения: **очная**

год набора: 2022

Автор: Гладкова И. В., доцент, к. ф. н.

Одобрена на заседании кафедры

Рассмотрена методической комиссией

Философии и культурологии

Горно-механического факультета

(название кафедры)

(название факультета)

Зав. кафедрой

Председатель

(подпись)

Беляев В.П.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 01.09.2021

(Дата)

(подпись)

Осипов П. А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 12.10.2021

(Дата)

Екатеринбург

## 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 проблеме;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнения 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, нужно 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 опiski, 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 тестов 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 избежать 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 неизвестными терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии<sup>1</sup>.

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)<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii\\_dlya\\_studentov\\_21.pdf](http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf)

<sup>2</sup> Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: [http://priab.ru/images/metod\\_agro/Metod\\_Inostran\\_yazyk\\_35.03.04\\_Agro\\_15.01.2016.pdf](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 времени на подготовку к устному опросу зависит 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 согласована 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 соответствовать 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:

| <i>Критерии оценки доклада, сообщения</i>             | <i>Количество баллов</i> |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| Содержательность, информационная насыщенность доклада | 2                        |
| Наличие аргументов                                    | 2                        |
| Наличие выводов                                       | 2                        |
| Наличие презентации доклада                           | 2                        |
| Владение профессиональной лексикой                    | 2                        |
| Итого:                                                | 10                       |

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 (заголовки), 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 — совершенно 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 убедиться 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 определяется 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 итогов 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 (зачет)* - 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 неувоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь

на то, что это не попадет 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 неусттомительный 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 в 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.



# Технологические процессы автоматизированных производств

## Ч.1

### СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЛ — автоматическая линия

АП — автоматизированное производство

АП С — автоматизированная производственная система

АСКИО — автоматизированная система контроля и измерения объекта

АСНИ — автоматизированная система научных исследований

АСС — автоматизированная станочная система

АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства

АСУ — автоматизированная система управления

АСУП — автоматизированная система управления производством

АСУТП — автоматизированная система управления технологическим процессом

АСУТПП — автоматизированная система управления технологической подготовкой производства

АТК — автоматизированный технологический комплекс

АТСС — автоматизированная транспортно-складская система

АТПП — автоматизация технологических процессов и производства

АУ — автоматизированный участок

АЦ — автоматизированный цех

БД — база данных

БЗУ — бункерное загрузочное устройство

БнД — база данных

В ПС — виртуальная производственная система

ГАП — гибкое автоматизированное производство

ГАП АТК — гибкое автоматизированное производство автоматизированных технологических комплексов ГОСТ... . \* — действующий стандарт

ГПМ — гибкий производственный модуль

ГПУ — гибкий производственный участок

ГПС — гибкая производственная система

ИГ — измерительная головка

ИПК — интегрированный производственный комплекс

КИМ — контрольно-измерительная машина

КТЭ — конструктивно-технологический элемент

ММ — математическая модель

МП — микропроцессор

МС — многоцелевой станок

ОПС — обобщенная производственная система

ОС — обратная связь

ОТС — организационно-техническая структура

ПМ — производственный модуль

ПО — программное обеспечение

ПР — промышленный робот

ПС — производственная система

ПУ — программа управления

ПЯ — производственная ячейка

РТК — робототехнический комплекс

САК — система автоматического контроля

САП — система программирования

САПР — система автоматизированного проектирования

САПР Т — система автоматизированного проектирования техно  
логической системы

СДРИ — система диагностики режущего инструмента СУ — система управления

СЧПУ — система числового программного управления

ТЗ — техническое задание

ТО — технический объект

ТОб — техническое обслуживание

ТОТ — типизированная операционная технология

ТП — технологический процесс

ТПП — технологическая подготовка производства

ТС — технологическая система

ТСД — техническое средство диагностики

УП — управляющая программа

УЧПУ — устройство числового программного управления

ЦПП — цифровой преобразователь перемещения

ШД — шаговый двигатель

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС В МАШИНОСТРОЕНИИ

## Основные понятия и определения механизации и автоматизации технологических процессов в машиностроении

В соответствии с ГОСТ 23004-78\* «Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении»

под **автоматизацией** технологических процессов понимают применение энергии неживой природы в технологическом процессе или его составных частях для их выполнения и управления ими без непосредственного участия людей, осуществляемое в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции.

Под **механизацией** понимается применение энергии неживой природы в технологическом процессе или его составных частях, полностью управляемых людьми, осуществляемое в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции.

## **Штучное время и его составляющие при механизации (автоматизации) технологических процессов**

**Штучное время** ( $T_{шт}$ ) — интервал времени, определяемый отношением цикла технологической операции к числу изделий, одновременно изготавливаемых или ремонтируемых на одном рабочем месте.

**Ручное время** ( $T^{\wedge}$ ) — часть штучного времени, затрачиваемая людьми при выполнении технологической операции без применения средств технологического оснащения.

**Машинно-ручное время** ( $\Gamma_{мр}$ ) — часть штучного времени, затрачиваемая при одновременном применении энергии людей и неживой природы.

**Полное машинное время** ( $\Gamma_{м}$ ) — часть штучного времени, равная времени функционирования средств технологического оснащения при использовании энергии неживой природы совместно с энергией людей и без нее.

**Время управления** ( $T_y$ ) — время, затрачиваемое людьми при наблюдении за технологической операцией и воздействиях на средства управления для обеспечения их правильного функционирования.

## **Оценка механизации и автоматизации технологических процессов**

Оценка механизации выполняется по основному времени, а автоматизации — по оперативному, включающему в себя как время на обработку, так и на обслуживание и управление процессом обработки. Функции человека при автоматизации сводятся к контролю за работой машины, устранению отклонений от заданного процесса (подналадке), наладке автоматизированной машины на обработку другого изделия.

Автоматически работающая машина в процессе обработки детали или сборки выполняет рабочие и холостые ходы. Последние состоят из вспомогательных переходов и вспомогательных ходов. Выполнение рабочих ходов приводит к непосредственной обработке резанием, пластическому деформированию металла и т.п. Вспомогательные переходы служат для подачи, установки и закрепления заготовки, раскрепления и снятия готовой детали, переключения режимов обработки, включения и выключения станка. Движения частей машины при вспомогательных ходах служат для подвода и отвода обрабатывающего инструмента.

В машиностроении обработка деталей обычно осуществляется на полностью или частично автоматизированных машинах (станках), которые соответственно называются автоматами и полуавтоматами.

**Рабочий цикл машины** при этом состоит из автоматического подвода инструментов с ускоренной подачей, переключения ускоренной подачи на рабочую, работе на рабочей подаче до выхода инструмента (перебега), переключения с рабочей подачи на ускоренную обратную, остановку суппорта (стола) в конце обратного хода. В полуавтоматах цикл работы машины автоматический, но может быть повторен только при воздействии рабочего после разгрузки готовой детали, загрузки и закрепления новой заготовки, включения подачи станка. В автоматах все рабочие и вспомогательные переходы и ходы осуществляются автоматически без участия рабочего. Вручную в них осуществляются только вспомогательные переходы по контролю, подналадке и наладке автоматов.



ГОСТ 23004-78\* предусматривает систему качественных и количественных характеристик автоматизации технологических процессов и производства (АТПП).

**Характеристика АТПП** — описание количественного или качественного признака механизации (автоматизации) технологических процессов, используемое при ее оценке.

**Система характеристик АТПП** — совокупность качественных и количественных характеристик механизации (автоматизации) технологических процессов, необходимая и достаточная для оценки и анализа ее состояния в соответствии с требованиями нормативно-технической или технической документации.

## Качественные характеристики АТПП

К качественным характеристикам относятся: вид, ступени и категории АТПП.

По виду автоматизация может быть частичной, комплексной и полной, единичной и комплексной, первичной и вторичной.

**Частичная АТПП** — АТПП или их систем, при которой часть затрат энергии людей заменена затратами энергии (автоматизация отдельных операций технологического процесса, например применение станков с ЧПУ).

**Комплексная АТПП** — АТПП или их систем, при которой изготовление деталей и сборки производится с использованием автоматических систем машин (например, автоматические линии, гибкие производственные системы).

**Полная АТПП** — АТПП или их систем, при которой все затраты энергии людей заменены затратами энергии неживой природы, включая управление (автоматизировано не только изготовление и сборка изделия, но все функции контроля и управления).

**Единичная АТПП** — АТПП одной первичной<sup>1</sup> составной части технологического процесса или системы технологических процессов включая управление.

**Комплексная АТПП** — частичная или полная механизация АТПП двух или более первичных составных частей технологического процесса или системы технологических процессов включая управление.

<sup>1</sup> Содержание первичной части определяется первым делением объекта автоматизации на составные части. Например, для системы технологических процессов первичными составными частями являются отдельные технологические процессы, для технологических процессов — технологические операции, для технологических операций — технологические и вспомогательные переходы и т.д.

**Первичная АТПП** — АТПП или их систем, в которых до ее проведения использовалась только энергия людей.

**Вторичная АТПП** — АТПП или их систем, в которых до ее проведения использовалась энергия только неживой природы.

Под **ступенью АТПП** понимают качественную характеристику состояния автоматизации технологических процессов или их систем, определяемую областью

применения, которая может изменяться от технологической операции до системы технологических процессов всех отраслей машиностроения и приборостроения.

Под **категорией АТПП** понимают качественную характеристику АТПП или их систем, определяемую интервалом значений основного показателя автоматизации, установленным в нормативно-технической документации.

Часто автоматизация проводится в несколько этапов (первичного и вторичного). Различают 10 ступеней внедрения автоматизации от одной операции до всей промышленности (обозначается цифрами от 1 до 10): 1 — единичная технологическая операция; 2 — законченный технологический процесс; 3 — система технологических процессов, выполняемых на производственном участке; 4 — система технологических процессов, выполняемых в пределах цеха (в системе цехов); 5 — система технологических процессов, выполняемых в пределах группы технологически однородных цехов; 6 — система технологических процессов, выполняемых в пределах предприятия (в системе групп цехов); 7 — система технологических процессов, выполняемых в пределах производственных фирм или научно-производственных объединений; 8 — система технологических процессов, выполняемых в пределах территориально-экономического региона (в системе отдельных фирм и объединений); 9 — система технологических процессов, выполняемых в пределах отрасли промышленности (в системе регионов); 10 — система технологических процессов, выполняемых на уровне промышленности всей страны (в системе отраслей).

## Количественные характеристики АТПП (показатели состояния)

**Временной уровень автоматизации живого труда ( $d_r$ )** — отношение неперекрытого машинного времени к штучному времени.

**Временной уровень автоматизации средств технологического оснащения ( $d_{fn}$ )** — отношение полного машинного времени к штучному времени. Часто этот показатель называют коэффициентом автоматизации.

**Энергетический уровень автоматизации средств технологического оснащения ( $d_m$ )** — отношение полезных затрат энергии неживой природы в течение неперекрытого машинного времени к сумме полезных затрат энергии неживой природы и людей в течение штучного времени.

Важнейшим количественным показателем является также **степень охвата автоматизацией первичных частей технологического процесса**

( $d_0$ ) — отношение автоматизируемых первичных частей к общему числу первичных частей технологического процесса. В технической литературе этот показатель иногда называют уровнем автоматизации.

Величина  $d_0$  зависит от типа производства. В единичном производстве она не превышает 0,1—0,2, а в массовом достигает значений 0,8-0,9.

## Степень автоматизации процесса

**Автоматический процесс (производство или оборудование)** — процесс (оборудование или производство), не требующий присутствия человека в течение определенного промежутка времени для выполнения ряда повторяющихся рабочих циклов.

**Автоматизированный процесс (производство или оборудование)** — процесс (оборудование или производство) частично автоматический, частично требующий вмешательства оператора.

Степень автоматизации системы (производственного процесса, системы машин, отдельной машины) определяется необходимой долей участия оператора в управлении этой системой.

Количественно степень автоматизации оценивается безразмерным коэффициентом  $k$ , равным отношению времени автоматической работы системы к рассматриваемому периоду времени.

Различают цикловую, рабочую и эксплуатационную степень автоматизации.

**Цикловая степень автоматизации ( $k_n$ )** — отношение времени автоматической работы устройства ( $t_a$ ) в течение цикла к полному времени цикла ( $t_u$ ):

**Рабочая степень автоматизации ( $k_p$ )** — отношение штучного времени автоматической работы устройства в течение цикла ко всему штучному времени:

где  $t_{шт}$  — штучное время изготовления единицы продукции без учета потерь времени по организационным причинам и на естественные надобности;  $t_p$  — время ручной работы человека, обслуживающего машину, приходящееся на одну деталь (складывается из времени, затрачиваемого на настройку машины перед началом работы, установку и снятие детали, измерение ее при изготовлении, управление машиной, смену изношенного инструмента, регулировку и подналадку машины, удаление стружки и т.п.).

**Эксплуатационная степень автоматизации ( $k_s$ )** — отношение суммы времени работы машины ( $\sum t_{с.д}$ ) в течение расчетного времени эксплуатации (смены, месяца, квартала, года) к расчетному периоду времени эксплуатации ( $T_s$ ):

При полной автоматизации присутствия человека в течение определенного периода времени вообще не требуется. Чем больше это время, тем выше степень автоматизации.

**Под безлюдным режимом работы** понимают такую степень автоматизации, при которой станок, производственный участок, цех или весь завод могут работать в автоматическом режиме в течение по крайней мере одной производственной

смены в отсутствие человека. **Средства**

**технологического оснащения при АТПП**

**Ручное техническое устройство** — техническое устройство, функционирующее<sup>11</sup> и управляемое при участии людей, без использования энергии неживой природы.

**Машина ручного действия** — машина, являющаяся ручным техническим устройством.

**Механизированное техническое устройство** — техническое устройство, функционирующее при последовательном применении энергии людей и неживой природы, которое управляется людьми без использования энергии неживой природы.

**Механизированная машина** — машина, являющаяся механизированным техническим устройством, в котором люди, кроме установки и съема объектов обработки, могут выполнять подачу инструмента.

**Автоматизированное техническое устройство** — техническое устройство, функционирующее при последовательном применении энергии людей и неживой природы, которое управляется людьми с частичным использованием энергии неживой природы.

**Автоматическое техническое устройство** — техническое устройство, функционирующее и управляемое по заданному алгоритму с использованием энергии неживой природы, без непосредственного участия людей.

**Машина-полуавтомат** — машина, выполняющая с помощью энергии неживой природы заданный алгоритм функционирования при участии людей в загрузке и выгрузке или установке и съеме объектов обработки и периодическом включении машины. **Машина-автомат** — машина, являющаяся автоматическим техническим устройством.

## Уровни автоматизации

Различают пять уровней автоматизации.

**Первый уровень** автоматизации характеризуется тем, что автоматизируется цикл обработки изделия. В автоматическом режиме осуществляется управление последовательностью и характером движений рабочего инструмента для получения заданной формы, размеров и качественных характеристик обрабатываемой детали. Наиболее полное воплощение автоматизация этого уровня получила в станках с числовым программным управлением (ЧПУ). При этом обеспечивается возможность оптимально осуществлять функции управления для широкой номенклатуры деталей. Значительно возрастает производительность труда по сравнению со станками, имеющими ручное управление, существенно повышается качество продукции.

На **втором уровне** предполагается автоматизация загрузки оборудования (установка заготовки и снятие готовой детали со станка). Это позволяет рабочему обслуживать несколько технологических единиц оборудования, таким образом перейти к многостаночному обслуживанию. В качестве загрузочных устройств широко используются промышленные роботы. Второй уровень автоматизации, как правило, обеспечивается созданием роботизированных технологических комплексов (РТК).

На **третьем уровне** автоматизируются следующие функции:

- 1) контроль за фактическим состоянием инструмента и своевременная его замена;

- 2) контроль качества обрабатываемых изделий (размеров, чистоты поверхности, а где возможно — качества изделия после термических, диффузионных, химических и других процессов);
- 3) контроль состояния станков и оборудования;
- 4) удаление стружки и других отходов производства;
- 5) адаптивное управление технологическим процессом (контроль и подналадка технологических процессов).

Третий уровень автоматизации реализуется путем создания адаптивных роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей, имеющих в своем составе, например, обрабатывающий центр, ПР, устройства контроля, диагностики и подналадки, другие вспомогательные механизмы, управляемые от одного контроллера или других управляющих устройств.

При **четвертом уровне** автоматизации осуществляется автоматическая переналадка оборудования. При ручной переналадке оборудования она занимает значительную часть рабочего времени. Чем чаще по условиям производства требуется переналадка, тем больше оказываются потери времени и уменьшается зона обслуживания одним рабочим. Оборудование с автоматической переналадкой экономически выгодно при обработке любых партий деталей и целесообразно при выпуске сборочных комплектов деталей, необходимых для обеспечения ритмичной работы сборочных цехов. Оно позволяет существенно сократить объемы незавершенного производства, сократить до минимума производственный цикл изготовления изделий.

**Пятый уровень** автоматизации — это гибкие производственные системы (ГПС).

## Роботизированные технологические комплексы

В современных условиях АТПП особое значение отводится использованию промышленных роботов и роботизированных технологических комплексов.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 8373-2014 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения», **промышленный робот (ПР)** — автоматически управляемый, перепрограммируемый, многоцелевой манипулятор, программируемый по трем и более осям. ПР может быть либо зафиксирован в заданном месте, либо может иметь возможность передвижения для выполнения промышленных задач по автоматизации. ПР включает: манипулятор, включая исполнительные механизмы; контроллер, включая подвесной пульт обучения и интерфейс связи (электронное оборудование и программное обеспечение).

Роботы первого поколения (автоматические манипуляторы) работают по заранее заданной «жесткой» программе. Например, в жесткой связи со станками, оснащенными ЧПУ.

Роботы второго поколения оснащены системами адаптивного управления, представленными различными сенсорными устройствами (например, техническим зрением, осязательными схватами и т.д.) и программами обработки сенсорной информации.

Роботы третьего поколения обладают искусственным интеллектом, позволяющим выполнять самые сложные функции при замене в производстве человека.

**Робототехническая система** — система, включающая роботов, рабочие органы роботов, а также машины, оборудование, устройства и датчики, поддерживающие роботов во время работы.

Возможно объединение нескольких робототехнических систем в промышленный робототехнический модуль (технологический робототехнический модуль), а модули объединяются в роботизированную линию.

Объединение робототехнической системы с технологическим оборудованием позволяет получить роботизированный технологический комплекс (РТК).

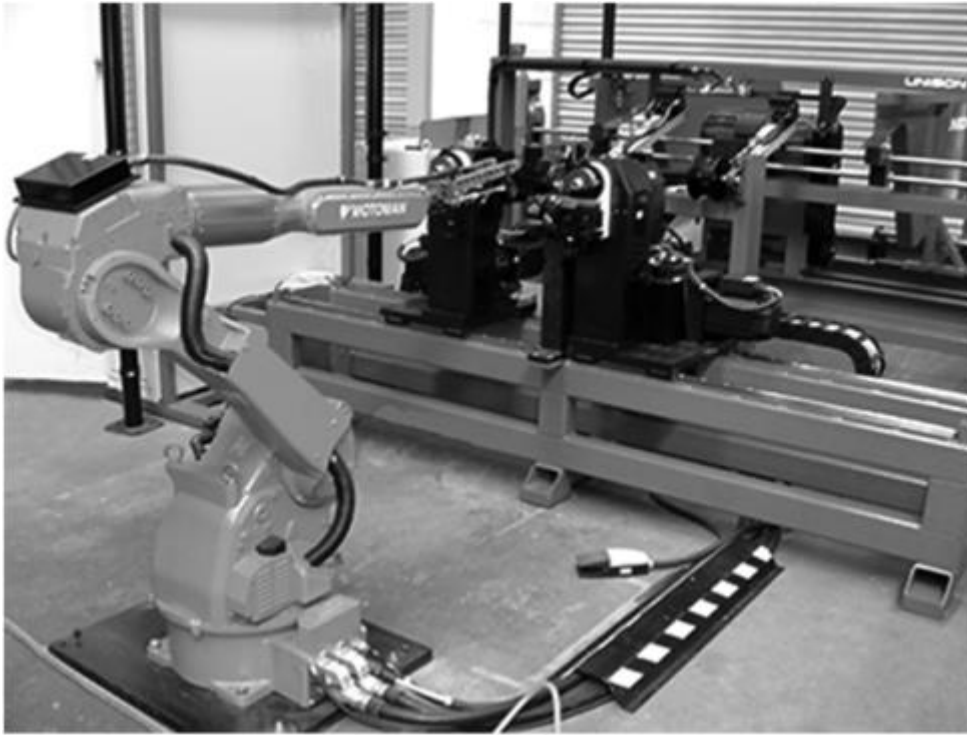
**Роботизированный технологический комплекс (РТК)** — совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы. Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства (деталей, заготовок) и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

В РТК промышленный робот может обслуживать как один (одностаночный комплекс), так и несколько (многостаночный комплекс) единиц технологического оборудования.

Классификация РТК по типу роботизированного подразделения основывается на количественной характеристике выполняемых комплексом технологических операций.

Простейшим типом РТК, который положен в основу более крупных комплексов, вплоть до целых предприятий, является роботизированная технологическая ячейка (РТЯ), в которой выполняется небольшое число технологических операций, например роботизированная единица технологического оборудования с ЧПУ (рис. 1.1).

Более крупным роботизированным комплексом является роботизированный технологический участок (РТУ). Он выполняет ряд технологических операций (включает несколько единиц РТЯ). Если операции осуществляются в едином технологическом процессе на последовательно расположенном оборудовании, то комплекс представляет собой роботизированную технологическую линию (рис. 1.2).



**Рис. 1.1. Роботизированная технологическая ячейка для гибки труб**



**Рис. 1.2. Роботизированная технологическая линия сварки кузова легкового автомобиля**

# Технологические процессы автоматизированных производств

## Ч.2

### Основы теории производительности машин и труда

Теория производительности труда основана на следующих положениях.

Каждая работа для своего совершения требует затрат времени и труда.

**Производительные затраты** — затраты времени и труда, расходуемые на основные процессы обработки (например, формообразование, контроль, сборку и т.д.).

**Непроизводительные затраты** — затраты времени и труда, расходуемые на вспомогательные (холостые) ходы рабочего цикла и вне-цикловые простои.

В идеальной машине при высоком потенциале производительности и качестве продукции отсутствуют потери времени на холостые ходы и простои.

Для производства любых изделий необходимы затраты прошлого (овеществленного) труда на создание средств производства и поддержание их работоспособности и живого труда на непосредственное обслуживание технологического оборудования. Закономерность развития техники заключается в том, что удельный вес затрат прошлого (овеществленного) труда непрерывно повышается, а затраты живого труда снижаются при общем уменьшении трудовых затрат, приходящихся на единицу продукции.

Автоматы и автоматические линии различного технологического назначения имеют единую основу автоматизации, которая выражается в общности целевых механизмов и систем управления, в общих закономерностях производительности, надежности, экономической эффективности, в единых методах построения машин, агрегатирования, определения режимов обработки, оценки прогрессивности и т.д.

Важнейшим фактором производительности труда являются затраты труда на создание, обслуживание и эксплуатацию рабочей машины:

где  $T$  — общие затраты труда, необходимые для создания машин, оборудования, зданий, сооружений и т.п.;  $T_ж$  — текущие затраты живого труда (часть овеществленного труда, затрачиваемого на основные и вспомогательные материалы, запчасти, электроэнергию, инструменты, топливо, смазку и т.п., необходимые для



производства изделий);  $T_{mm}$  — затраты предметов труда (часть овеществленного труда, затрачиваемого на основные и вспомогательные материалы, запчасти, электроэнергию, инструменты, топливо, смазку и т.п., необходимые для производства изделий);  $N$  — время эксплуатации машины (годы).

Оценка производительности труда производится путем сопоставления результатов трудового процесса (количества выпущенной продукции  $W$ ) с суммарными трудовыми затратами ( $T_T$ ), необходимыми для ее выпуска за некоторый интервал времени — срок службы машин  $A_T$ :

$$A_T = \frac{W}{T_T} \text{ [продукция/труд]}. \quad (1.5)$$

Выпущенная годная продукция измеряется или в физических величинах (штуки, единицы длины, массы, объема и др.), или в стоимостном выражении (рубли). Суммарные трудовые затраты выражаются или в единицах абстрактного труда (человеко-часы, человекодни и т.п.), или в денежном выражении (рубли).

Количество выпущенной продукции зависит от того, сколько лет работает оборудование.

При постоянной производительности оборудования

$$W = Q_T \cdot N, \quad (1.6)$$

где  $Q_T$  — годовой фактический выпуск продукции.

Подставляя (1.6) и (1.4) в (1.5), получим (рис. 1.3):

$$A_T = \frac{Q_T \cdot N}{T_{\Pi} + N(T_{\text{ж}} + T_{\text{пт}})}. \quad (1.7)$$

Анализ производительности труда  $A_T$  как функции от срока службы  $N$  показывает ее переменный характер даже при неизменных технико-экономических характеристиках (производительность машин, их надежность, степень автоматизации и эксплуатационные затраты).

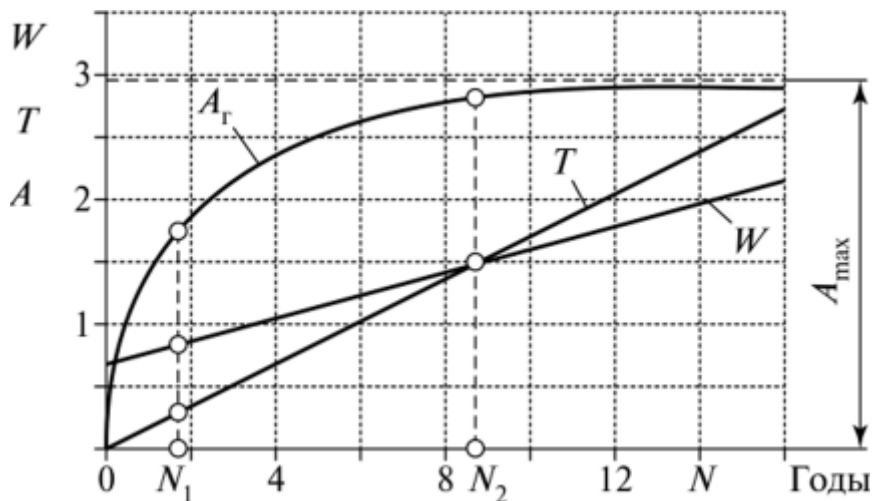
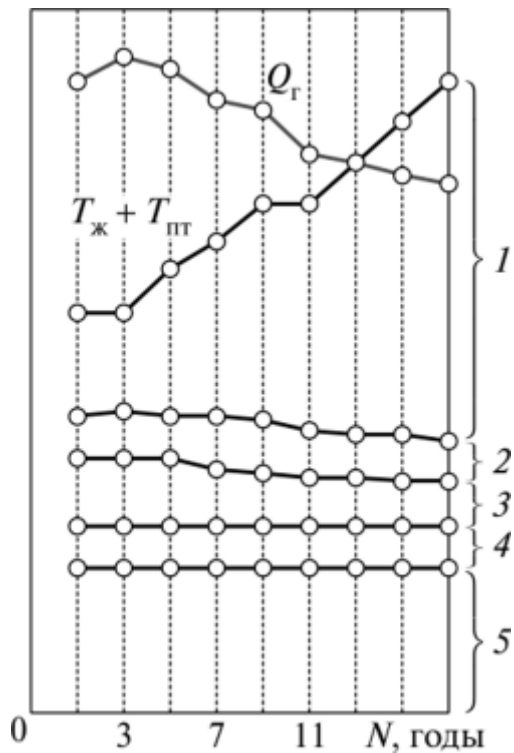


Рис. 1.3. Зависимости вышедшей продукции  $W$ , эксплуатационных затрат  $T$  и производительности труда  $A_m$  в относительных единицах от сроков службы при неизменных эксплуатационных характеристиках:  $N$ — срок службы

Уровень производительности труда при малых сроках службы мал, так как на сравнительно малый объем вышедшей за это время продукции требуются значительные затраты на средства производства. С ростом сроков службы производительность труда увеличивается, так как единовременные затраты овестественного труда  $T_e$  раскладываются на больший объем вышедшей продукции.

Зависимость (1.7) справедлива для случаев, когда эксплуатационные показатели машин (количество вышедшей продукции и эксплуатационные затраты) постоянны во времени и не зависят от длительности эксплуатации. Однако это идеализация. В процессе эксплуатации всегда действуют необратимые факторы: с одной стороны, освоения, отработки технологии, повышения квалификации обслуживающих рабочих, с другой — старения машин вследствие износа, потери жесткости и геометрической точности узлов, накопления усталостных напряжений и т.д.

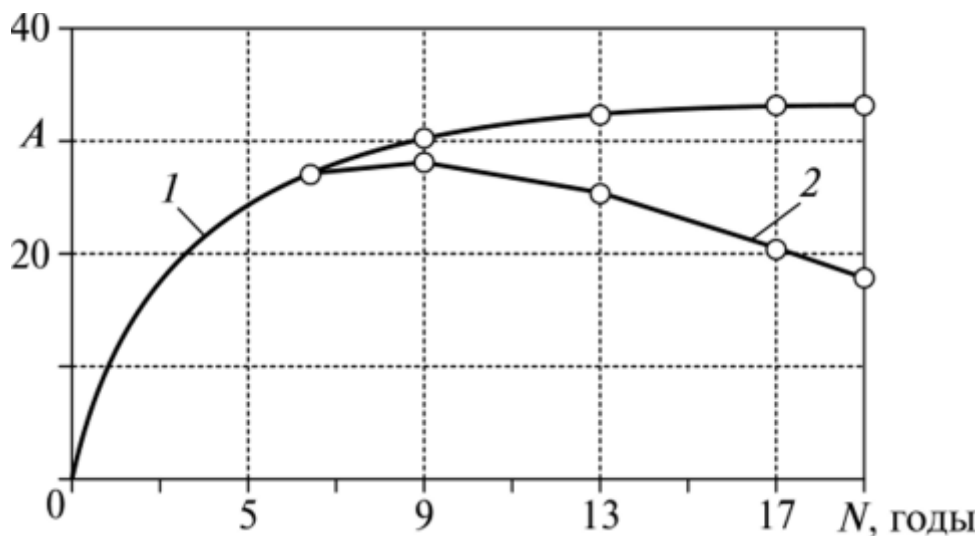
В качестве примера на рис. 1.4 показаны зависимости годового выпуска и годовых эксплуатационных затрат от длительности эксплуатации металлорежущего оборудования.



**Рис. 1.4. Изменение эксплуатационных характеристик металлорежущего оборудования за время эксплуатации:**

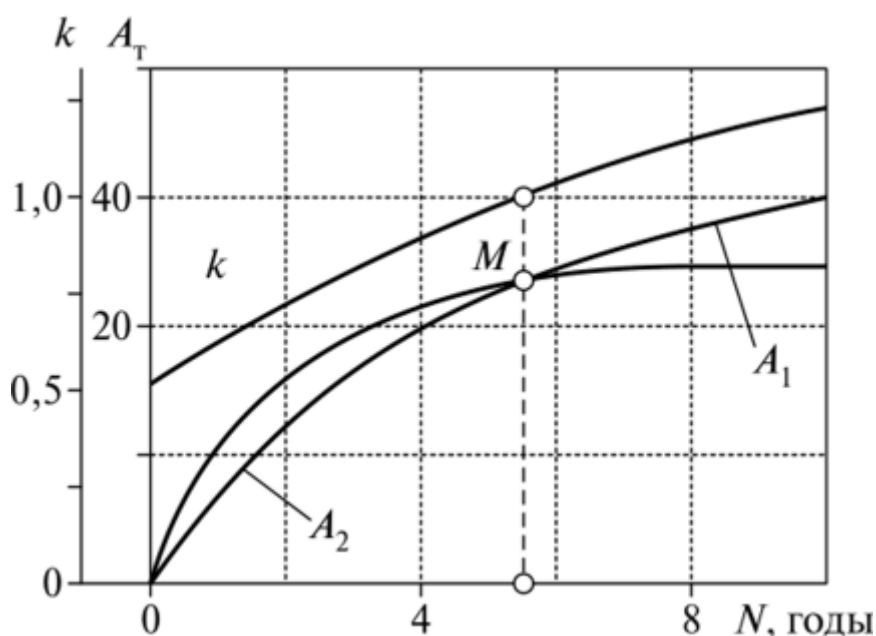
1 — ремонтные затраты; 2 — затраты на электроэнергию; 3 — затраты на режущий инструмент; 4 — амортизационные отчисления; 5 — зарплата производственных рабочих

Производительность сохраняется на относительно стабильном уровне лишь в течение 7—9 лет, после чего следует ее монотонное снижение. Годовые эксплуатационные затраты, наоборот, имеют тенденцию к возрастанию, в основном за счет увеличения затрат на ремонт и межремонтное обслуживание. В результате производительность труда вначале возрастает, но через 4—7 лет начинает снижаться (рис. 1.5).



**Рис. 1.5.** Изменение производительности труда в зависимости от сроков службы металлорежущего оборудования при постоянных (1) и переменных (2) эксплуатационных показателях

Автоматизация технологического процесса может быть средством повышения производительности труда. При этом необходимо рассматривать несколько вариантов автоматизации производства, как для одного, так и для разных уровней серийности. Предпочтение отдается варианту, обеспечивающему наибольший рост производительности труда при гарантированном качестве выпускаемой продукции в течение всего срока службы машины. На рис. 1.6 приведены графики сравнения производительности труда двух вариантов автоматизации ( $y_1$  — поточной линии  $uL_2$  — автоматической линии).



**Рис. 1.6.** Изменение производительности труда во времени ( $k = L_2/L_1$ ) поточной ( $A_1$ ) и автоматической ( $A_2$ ) линий, одновременно вводящихся в эксплуатацию и имеющих одинаковые сроки службы

Стоимость автоматической линии превышает стоимость поточной, поэтому при малых сроках службы предпочтительно внедрение поточной линии. Однако автоматическая линия благодаря высокой производительности и малому количеству обслуживающих рабочих имеет более низкие эксплуатационные затраты при выпуске продукции, поэтому при длительных сроках службы уровень производительности труда на автоматической линии выше ( $k > 1$ ).

Следовательно, при сроке службы, лежащем правее точки  $M$ , предпочтительным является внедрение автоматической линии.

## Основные пути повышения производительности

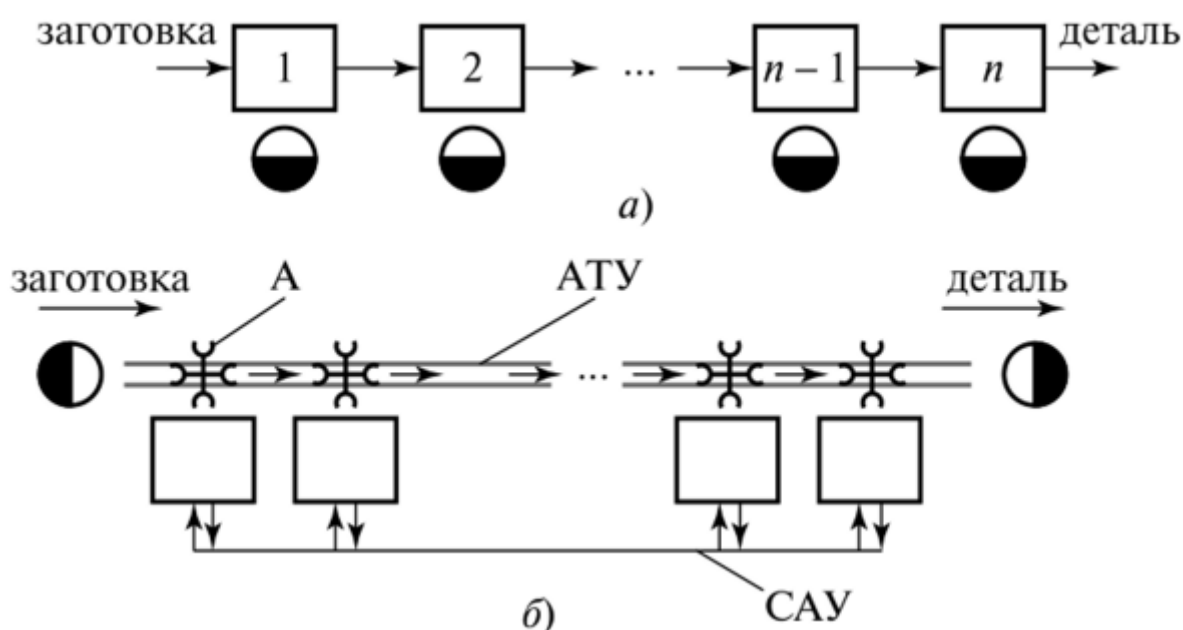
Количественный анализ факторов, определяющих производительность труда, позволяет выявить следующие основные пути повышения производительности труда при автоматизации производственных процессов:

- 1) уменьшение затрат живого труда за счет сокращения числа рабочих;
- 2) сокращение затрат прошлого труда, за счет снижения стоимости средств производства;
- 3) сокращение затрат живого и прошлого труда благодаря повышению производительности средств производства (сокращение трудовых затрат на единицу изделия).

Уменьшение затрат живого труда  $T_{ж}$  за счет сокращения числа основных производственных рабочих достигается благодаря совершенствованию средств производства и управлению, изменению организации труда.

Например, замена поточной линии из  $n$  станков (каждый станок обслуживает один производственный рабочий, итого) на автоматическую, объединяющую эти  $n$  станков в единую транспортно-технологическую систему (рис. 1.7), позволяет сократить число производственных рабочих до двух в одну смену.

Это наиболее распространенный путь автоматизации производства, позволяющий сократить число производственных рабочих. Однако этот путь имеет ограниченные возможности повышения производительности труда. В неавтоматизированном производстве каждый рабочий осуществляет ручное управление работой станка и выполнение вспомогательных операций (установку-съем заготовки, подвод-отвод инструмента и т.д.). Естественно, рабочий может обслужить 1 станок ( $Z=1$ ), а затраты живого труда составляли  $T_{ж}$ . Если механизировать процесс обработки, то, допустим, рабочий сможет обслужить 2 станка ( $Z=2$ ). В этом случае экономия составляет 50%.



**Рис. 1.7.** Схемы поточной линии с обслуживанием каждого станка (а) и автоматической линии (б):

А — автооператор; АТУ — автоматическая транспортная система; САУ — система автоматического управления линией

Если объединить  $n$  станков в единую автоматическую систему, то можно допустить, что 1 рабочий обслуживает  $Z$  станков. При обслуживании  $Z$  станков одним рабочим (при неизменной заработной плате 1 рабочего) затраты живого труда составят  $(T_{ж}/Z)$ .

Общая экономия живого труда составит величину «Э», а по отношению к первоначальному фонду заработной платы величину А:

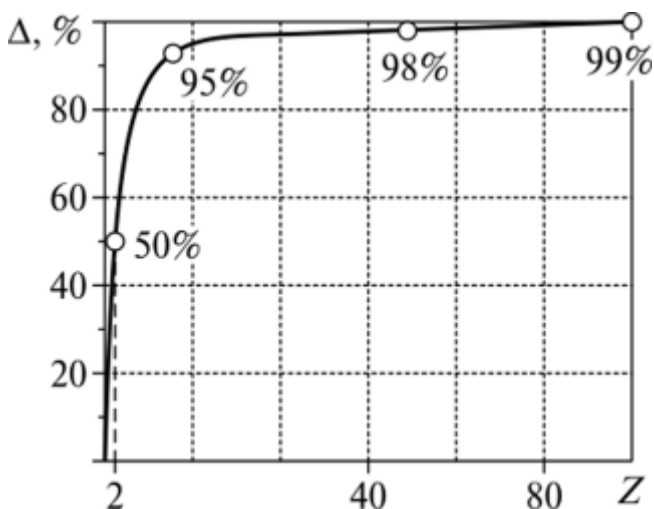
$$\Delta = T_{\text{ж}} - \frac{T_{\text{ж}}}{Z} = T_{\text{ж}} \left(1 - \frac{1}{Z}\right); \quad \Delta = 1 - \frac{1}{Z}. \quad (1.8)$$

Как видно из (1.8), экономия не пропорциональна числу станков, обслуживаемых одним рабочим (рис. 1.8). Если при переходе от обслуживания одной машины к двум можно простейшими средствами сэкономить 50% заработной платы, то при переходе от 50 к 100 станкам — только 1%.

Таким образом, автоматизация с целью многостаночного обслуживания выгодна и позволяет создать автоматические системы машин в кратчайшие сроки лишь в тех случаях, когда они не требуют больших затрат сил, средств и времени.

Сокращение затрат прошлого труда за счет снижения стоимости средств производства связано с совершенствованием технологии производства самих средств производства, стандартизацией и уни-

Автоматизация приводит к уменьшению количества рабочих-операторов, но не наладчиков, число которых, как правило, возрастает особенно при низких показателях надежности оборудования.



**Рис. 1.8. Зависимость экономии живого труда (Δ) от числа станков (Z), обслуживаемых одним рабочим**

фикацией механизмов, узлов и деталей машин, обеспечивающих снижение их себестоимости.

Для этого пути характерен принцип агрегатирования средств производства, т.е. создание станочных систем в виде агрегата, состоящего из функционально независимых и конструктивно законченных модулей. Агрегатные станки позволяют резко уменьшить время как проектирования, так и создания автоматической системы (линии). В настоящее время принцип агрегатирования распространен не только на узлы станка, но и на все компоненты автоматических линий (встраиваемые станки, унифицированные транспортные средства...).

Сокращение затрат живого и прошлого труда благодаря повышению производительности средств производства, а следовательно, сокращению трудовых затрат на единицу изделия достигается путем разработки новых прогрессивных технологических процессов и создания высокопроизводительных средств производства.

## Показатели производительности автоматизированных систем

Основными характеристиками любой технологической машины являются качество и количество выпускаемой продукции (производительность). И если показатели качества бесконечно разнообразны в зависимости от видов продукции и требований к ним, то показатели количества выпускаемой продукции едины для любого вида оборудования.

Производительность определяется количеством годных деталей, изделий, комплектов, выпускаемых машиной в единицу времени. Время обработки детали машиной является обратной величиной производительности.

При расчете, анализе и оценке производительности автоматизированного оборудования с учетом различных видов затрат времени используют четыре вида (или категории) производительности: технологическую, цикловую, техническую и фактическую.

**Технологическая производительность** — максимальная теоретическая производительность при условии бесперебойной работы машины и обеспечения ее всем необходимым:

$$Q_T = \frac{1}{T_p}, \quad (1.9)$$

где  $T_p$  — время рабочих ходов.

**Цикловая производительность** — теоретическая производительность машины с учетом реальных холостых ходов при отсутствии простоев:

$$Q_{ц} = \frac{1}{T_p + T_x} = \frac{1}{T_{ц}}, \quad (1.10)$$

где  $T_x$  — время холостых ходов, не совмещенных с рабочими ходами;  $T_{ц}$  — время цикла обработки.

Цикловая производительность может быть представлена в следующем виде:

$$Q_{ц} = \frac{1}{T_p + T_x} = \frac{1}{\frac{1}{Q_T} + T_x} = Q_T \cdot \eta, \quad (1.11)$$

где  $\Gamma$  — коэффициент производительности

$$\eta = \frac{1}{1 + T_x \cdot Q_T} \quad (1.12)$$

Коэффициент производительности характеризует степень непрерывности протекания технологического процесса. Например: при  $X] = 0,75$ , 75% составляют рабочие ходы, а 25% — холостые. Следовательно, возможности технологического процесса используются только на 75%.

**Техническая производительность** — теоретическая производительность машины с учетом реальных холостых ходов и ее собственных простоев:

$$Q_{\text{техн}} = \frac{1}{T_p + T_x + T_c}, \quad (1.13)$$

где  $T_c$  — собственные потери, связанных с выходом из строя инструментов, приспособлений, оборудования.

**Фактическая производительность** — производительность реальной машины в реальных условиях эксплуатации с учетом всех видов потерь (рис. 1.9):

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{T_p + T_x + T_c + T_{\text{вн}}}, \quad (1.14)$$

где  $T_{\text{вн}}$  — время простоев по организационно-техническим причинам, не связанным с работой оборудования.

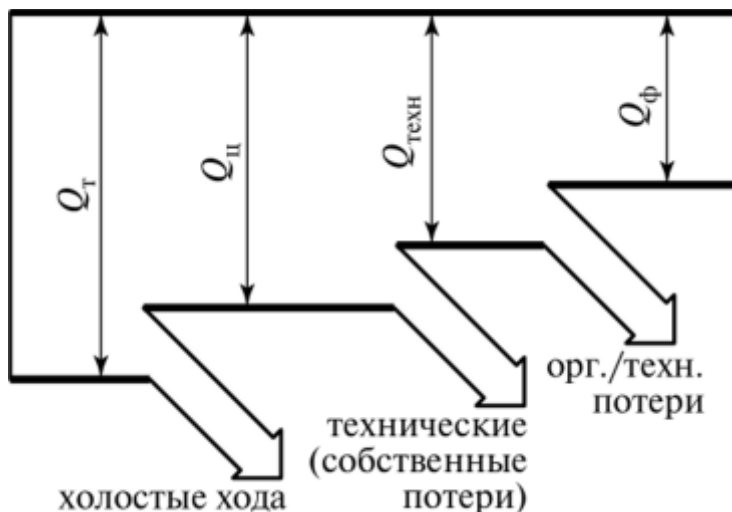


Рис. 1.9. **Производительность автоматизированных систем:**

$Q_T$  — технологическая производительность;  $Q_{\text{ц}}$  — цикловая производительность;  $Q_{\text{техн}}$  — техническая производительность;  $Q_{\Phi}$  — фактическая производительность



Влияние потерь производительности (простоев) можно оценить, используя коэффициенты:  $\Gamma_{\text{исп}}$  — коэффициент использования;  $\Gamma_{\text{техн}}$  — коэффициент технического использования;  $\Gamma_{\text{з}}$  — коэффициент загрузки.

Фактическую производительность можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{ф}} = \frac{1}{T_{\text{р}} + T_{\text{х}} + T_{\text{с}} + T_{\text{вн}}} = \frac{1}{T_{\text{р}} + T_{\text{х}}} \cdot \frac{T_{\text{р}} + T_{\text{х}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{х}} + T_{\text{с}} + T_{\text{вн}}} =$$

$$= Q_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{исп}}; \quad \eta_{\text{исп}} = \frac{T_{\text{р}} + T_{\text{х}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{х}} + T_{\text{с}} + T_{\text{вн}}}, \quad (1.15)$$

где  $\Gamma_{\text{исп}}$  — коэффициент использования, характеризующий эффективность использования оборудования, т.е. долю времени обработки в общем объеме.

Между коэффициентом использования ( $\Gamma_{\text{исп}}$ ) и коэффициентами  $\Gamma_{\text{техн}}$  и  $\Gamma_{\text{з}}$  существует соотношение:

$$\eta_{\text{исп}} = \eta_{\text{техн}} \cdot \eta_{\text{з}}. \quad (1.16)$$

Величина  $\Gamma_{\text{техн}}$  определяется с учетом только собственных потерь. Он характеризует долговечность, качество, надежность механизмов и инструментов, стабильность технологического процесса. Его значение показывает, какую долю времени работает оборудование при условии обеспечения всем необходимым.

Коэффициент загрузки определяется с учетом собственных организационно-технических потерь. Его значение показывает, какую долю времени машина (оборудование) обеспечена всем необходимым.

Таким образом, все виды производительности связаны между собой:

$$Q_{\text{т}} = \frac{1}{T_{\text{р}}};$$

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = Q_{\text{т}} \cdot \eta;$$

$$Q_{\text{техн}} = Q_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{техн}} = Q_{\text{т}} \cdot \eta \cdot \eta_{\text{техн}}; \quad (1.17)$$

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{техн}} \cdot \eta_{\text{з}} = Q_{\text{т}} \cdot \eta \cdot \eta_{\text{техн}} \cdot \eta_{\text{з}};$$

$$Q_{\text{т}} \geq Q_{\text{ц}} \geq Q_{\text{техн}} \geq Q_{\text{ф}}.$$

# Технологические процессы автоматизированных производств

Ч.3

## Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП)

В соответствии с рекомендациями Р50—54—86—88 «Автоматизированная система технологической подготовки производства. Состав и порядок разработки», под **автоматизированной системой технологической подготовки производства (АСТПП)** — понимается совокупность технических средств и методов автоматизированного проектирования и реализации технологической системы, обеспечивающих возможность производства изделий с заданным уровнем качества и в заданных количествах с наименьшими затратами ресурсов в конкретных условиях производства.

АСТПП совместно с системой автоматизированного проектирования (САПР) является частью производственной системы и обязательна для гибкого автоматизированного производства (ГАП). Количество выполняемых функций и объем решаемых АСТПП задач в составе ГАП значительно возрастают в связи с переходом от проектирования и изготовления отдельных единиц технологического оснащения к проектированию, изготовлению, вводу в действие и модернизации сложных автоматизированных технологических комплексов (АТК), а также проектированию технологических процессов, выполняемых с помощью АТК, с высокой степенью детализации и программированием действий АТК.

В соответствии с задачами, решаемыми АСТПП, в структуре ГАП можно выделить три подсистемы:

### **Автоматизированная система управления технологической подготовкой производства (АСУТПП)**

АСУТПП является координирующей подсистемой и решает задачи планирования, учета, контроля и регулирования всех подсистем АСТПП. Она согласовывает функционирование АСТПП в составе предприятия для достижения целей, определенных ей автоматизированной системой управления производством (АСУП).

### **Система автоматизированного технологического проектирования (САПР-Т)**

САПР-Т осуществляет проектирование технологической системы изготовления элементов конструкции выпускаемого изделия, его сборки и испытания, разработку программ управления технологическим оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ) в составе АТК. В процессе проектирования технологической системы определяются: соответствие каждого элемента конструкции изделия требованиям конструкторской документации; состав производственных подразделений по видам работ; состав элементов технологического процесса, последовательность их выполнения и режимы; исходные данные и требования на создание или реконструкцию АТК; состав технологического оборудования,

требования к оборудованию или технические задания на его разработку и изготовление; состав приемов работы исполнителей; состав и квалификация исполнителей по видам работ; нормы затрат ресурсов (трудовых, материальных, энергетических, временных, стоимостных) на выполнение всех элементов технологического процесса.

В задачи САПР-Т входят также согласование конструкции изделия и отдельных ее элементов с возможностями технологической системы предприятия, увязка (геометрическая и размерная) элементов конструкции изделия и технологической оснастки, построение конструктивных плазов при плазово-шаблонном методе производства, программирование действий технологического оборудования с числовым программным управлением в составе АТК.

САПР-Т решает задачи проектирования технологии с различной степенью детализации в зависимости от типа и уровня автоматизации производства. Для мелкосерийного производства, оснащенного универсальным оборудованием, технологическим документом является маршрутная карта, содержащая перечень основных технологических операций. Полный состав задач решается на основе математической модели в САПР-Т для производства, максимально оснащенного технологическим оборудованием с ЧПУ, управляемого от электронных вычислительных машин и объединенного в АТК. При использовании оборудования с числовым программным управлением необходима детальная разработка технологических операций, на основе которых производятся изменение параметров технологического процесса и разработка программ управления АТК.

## Гибкое автоматизированное производство автоматизированных технологических комплексов (ГАПАТК)

ГАПАТК осуществляет проектирование, изготовление и ввод в действие АТК в целом и отдельных его компонентов: технологического оборудования, автоматизированных транспортно-складских систем, оснастки, стендов, инструмента, программно-технических комплексов и т.д.

## Математическое обеспечение АСТПП

Математическое обеспечение АСТПП является основой для постройки программного обеспечения АСТПП предприятия.

Математическое обеспечение АСТПП разрабатывается в следующем порядке:

- 1) определяются состав типовых задач ТПП и классов объектов моделирования;
- 2) производится выбор и разработка математических методов решений типовых задач ТПП;
- 3) строятся типовые математические модели классов объектов моделирования;
- 4) разрабатываются типовые алгоритмы;
- 5) выявляется состав задач ТПП объектов моделирования конкретного предприятия;

- 6) строятся индивидуальные математические модели объектов моделирования;
- 7) разрабатываются индивидуальные алгоритмы.

Объектами моделирования в ТПП являются: изделия; технологические процессы; производственная система; средства технологического оснащения; процессы управления и проектирования.

Различают типовое и индивидуальное математическое обеспечение АСТПП.

Типовое обеспечение разрабатывается применительно к типовым задачам (задачам инвариантным относительно особенностей конкретных предприятий) ТПП для классов объектов моделирования.

Типовое МО АСТПП ориентировано на решение задач технологической подготовки производства функционально, конструктивно и технологически подобных изделий на всех уровнях, объемах, периодичностях и длительностях выпуска изделий.

Типовое МО АСТПП включает: типовые математические модели (математические модели, инвариантные для определения классов объектов моделирования) классов объектов; математические методы решения типовых задач ТПП; типовые алгоритмы АСТПП.

Эти модели можно условно разделить на количественные (описывающие свойства моделируемого объекта в целом) и структурные (описывающие взаимосвязь и свойства элементов моделируемого объекта).

Индивидуальное математическое обеспечение АСТПП разрабатывается с учетом специфики задач ТПП и особенностей объектов моделирования конкретного предприятия. Это математическое обеспечение включает: индивидуальные математические модели и индивидуальные алгоритмы АСТПП.

Индивидуальное математическое описание АСТПП разрабатывают на основе типового описания, задач ТПП и объектов моделирования конкретного предприятия. Разработанные в результате построения АСТПП предприятия инвариантные индивидуальные математические модели и алгоритмы включают в состав типового математического описания АСТПП.

Типовые и индивидуальные алгоритмы АСТПП состоят из следующих блоков: описания входных параметров; выбора (синтеза) решений; оценки решений; формирования результатов.

Блок описания входных параметров предназначен для задания состава параметров информационных объектов, используемых при решении задачи и их расположения в памяти ЭВМ.

Блок выбора (синтеза) решений предназначен для описания правил задачи на основе анализа входных параметров и формирования всех допустимых вариантов решений.

Блок оценки решений предназначен для описания правил сравнения вариантов решений и выбора лучшего по заданному критерию.

Блок формирования результатов предназначен для описания состава и расположения в памяти ЭВМ параметров, полученных в результате решений задачи и представленных в виде, удобном для хранения в памяти ЭВМ.

## Контрольные вопросы

- 1. В чем разница между механизацией и автоматизацией технологических процессов?
- 2. Как оценивается уровень автоматизации технологических процессов?
- 3. Что такое качественные характеристики автоматизации технологических процессов?
- 4. В чем разница между полной и комплексной автоматизацией технологических процессов?
- 5. Какие характеристики относятся к показателям состояния автоматизированной технологической системы?
- 6. Как оценивается степень автоматизации технологических процессов?
- 7. В чем разница между машиной-автоматом и автоматизированной машиной?
- 8. Что понимается под термином «автоматизированная система технологической подготовки производства»?

# НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

## Термины и определения

Экономическая эффективность любого оборудования в большой степени зависит от его надежности. Кроме того, низкий уровень надежности приводит к отказам в работе, авариям, травмированию и гибели людей.

Эффективность работы ( $P_э$ ) оборудования складывается из затрат на его изготовление ( $P_и$ ) и обслуживание при эксплуатации ( $P_о$ ) и получаемой прибыли ( $P_п$ ) от его эксплуатации:

Однако фактический экономический эффект ( $P_{эф}$ ) меньше теоретического ( $P_{эт}$ ) по ряду причин, в том числе из-за низкой надежности (отказов, простоев оборудования), в результате чего возрастают затраты на ремонт и обслуживание (кривая  $P_о$  на рис. 2.1).

За счет получаемой прибыли  $P_п$  затраты на изготовление  $P_и$  окупаются за время  $T_{ок}$  (период окупаемости), когда величина окупаемости  $P_{ок}$  станет равной сумме затрат на изготовление  $P_и$  и затрат на обслуживание  $DP_о$ .

Допустим, альтернативный вариант имеет больший уровень надежности, а следовательно, и большую эффективность работы за счет снижения числа отказов и простоев.

Несмотря на большие капитальные затраты ( $P_и > P_и^*$ ), больший срок окупаемости ( $P_{ок}^* > P_{ок}$ ), снижение числа отказов и простоев приведет к увеличению прибыли ( $P^* >$

$P_o$ ), а следовательно, к увеличению максимального эффекта ( $P_{\max}^a - P_{\max}$ ) и увеличению срока эффективной работы оборудования ( $T_{\text{эф}}^a > T_{\text{эф}}$ ).

Термины и определения по надежности стандартизованы: ГОСТ 15467-79\* «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения»; ГОСТ 27.002-89\* «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»; ГОСТ 27.004-85 «Надежность в технике. Системы технологические, термины и определения».

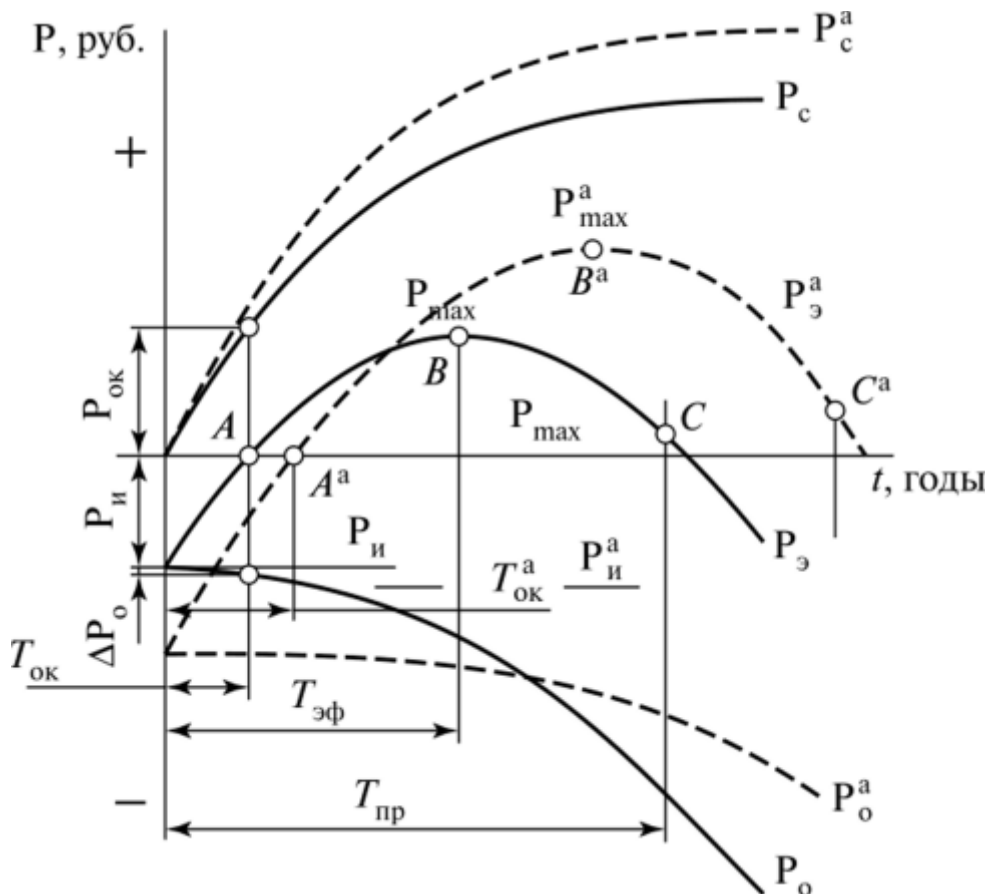


Рис. 2.1. Зависимость эффективности использования оборудования от уровня его надежности:

сплошная линия — базовый вариант; прерывистая — альтернативный (с большим уровнем надежности) вариант;  $P_c(P^a)$  — прибыль базового (альтернативного) варианта;  $P_э(P^a)$  — эффективность базового (альтернативного) варианта;  $P_и(P^a)$  — затраты на изготовление (капитальные затраты) базового (альтернативного) варианта;  $P_o(P^a)$  — затраты на обслуживание базового (альтернативного) варианта;  $P_{\max}(P^a)$  — максимальный эффект базового (альтернативного) варианта;  $A(A^a)$  — точка окупаемости затрат базового (альтернативного) варианта;  $B(B^a)$  — точка максимального эффекта базового (альтернативного) варианта;  $C(C^a)$  — точка предельного срока эффективной работы базового (альтернативного) варианта

**Надежность** — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

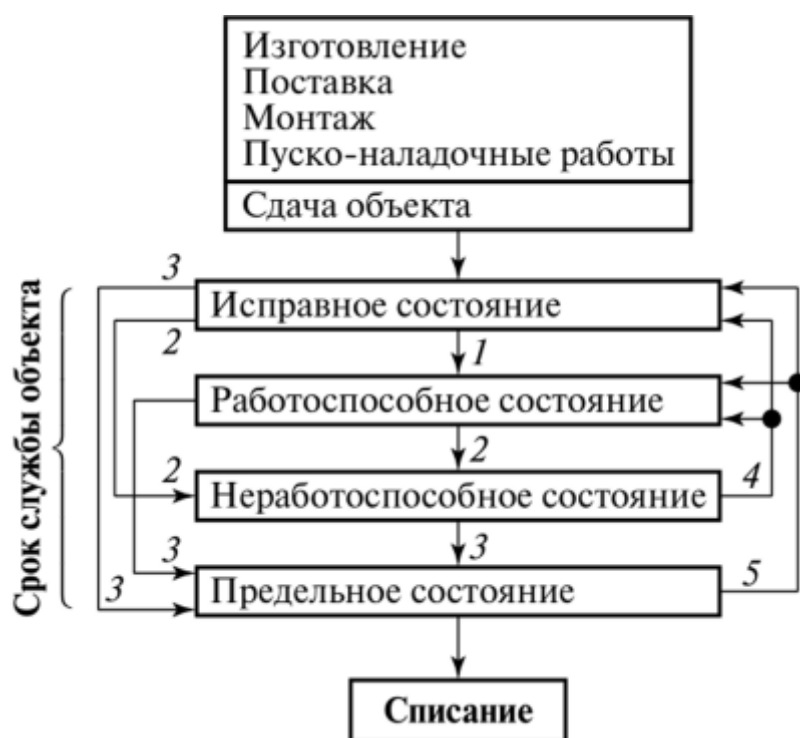
**Безотказность** — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

**Долговечность** — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Ремонтпригодность** — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержке и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

**Сохраняемость** — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

В течение срока службы (рис. 2.2) объект (системы) может находиться в следующих состояниях.



**Рис. 2.2. Срок службы объекта (системы):**

1 — повреждение; 2 — отказ; 3 — переход в предельное состояние (старение, потеря точности, снижение эффективности); 4 — восстановление; 5 — ремонт

**Исправное состояние** — состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Неисправное состояние** — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Работоспособное состояние** — состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Неработоспособное состояние** — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Для сложных объектов (систем) возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, при которых объект способен частично выполнять требуемые функции.

**Предельное состояние** — состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

## Дефекты и отказы объекта (системы)

**Дефект** — каждое несоответствие продукции (объекта, системы) установленным требованиям.

**Повреждение** — событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

**Отказ** — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Различают восемь видов отказов: внезапный, постепенный, зависимый, независимый, перемежающийся, конструкционный, производственный, эксплуатационный.

**Внезапный отказ** — отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений лимитирующего параметра; отказ, приводящий к внезапному останову машины или нарушению.

Особенностью внезапного отказа является то, что ему не предшествует направленное изменение параметров, поэтому его нельзя прогнозировать, например сгорел предохранитель, сломался режущий инструмент или элемент машины. Этот отказ возникает при скачкообразном изменении одного или нескольких параметров объекта, определяющих его качество. Такие изменения являются следствием сочетания неблагоприятных факторов воздействия. Внезапный отказ может возникнуть при возрастании механических нагрузок, превышающих расчетные, при несоблюдении условий эксплуатации, наличии скрытых технологических дефектов, при прекращении подачи смазки и т.п.

Постепенный отказ — отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта. Этот отказ можно



охарактеризовать постепенным изменением значений параметров объекта, а также наличием тенденции (или закономерности) их изменения во времени, что позволяет их прогнозировать. Основной причиной постепенных отказов является износ деталей и процесс естественного старения.

Принципиальной разницы между внезапными и постепенными отказами не существует. Внезапные отказы чаще всего являются следствием постоянного, но скрытого от глаз наблюдателя, старения, ухудшающего начальные параметры объекта. Так, постепенное накопление усталостных напряжений приводит к внезапному отказу.

В зависимости от последствий отказов их можно разделить на зависимые и независимые.

Зависимый отказ — отказ, обусловленный другими отказами (следствие отказа другой детали механизма или объекта системы). Например, выход из строя поршня при обрыве клапана.

Независимый отказ — отказ, не обусловленный другими отказами.

В зависимости от причины возникновения различают отказы: конструкционные, производственные и эксплуатационные.

Конструктивный отказ — отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ — отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ — отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

## Оценка уровня надежности объекта

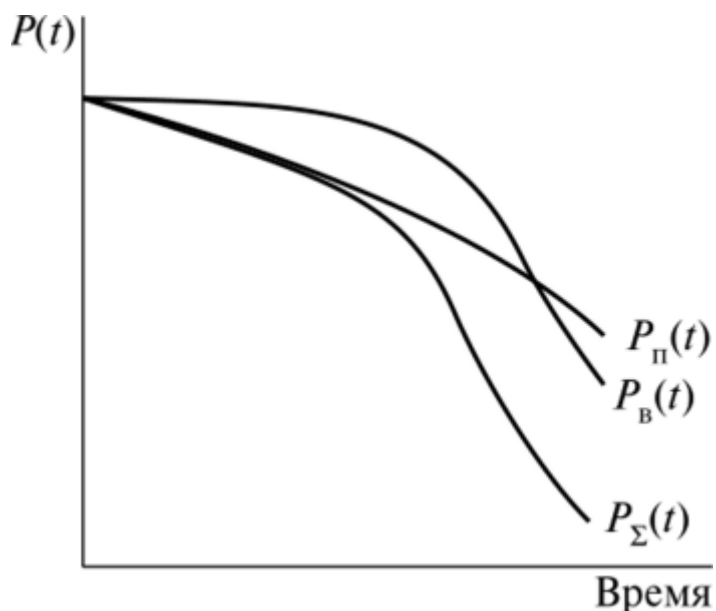
Основным показателем безотказности объекта является вероятность безотказной работы ( $P$ ) — вероятность того, что в заданном интервале времени  $t, 0 < t = T$  не возникнет отказа. Значение  $P$ , находится в пределах  $0 < P, < 1$ .

Допустимые значения  $P$ , устанавливаются в зависимости от целевого назначения изделий или экономической целесообразности: в авиакосмической промышленности — 0,9999 (отказ в течение ресурса  $T_p$  недопустим); для станков с ЧПУ  $P$ , — 0,99.

При совместном действии постепенных и внезапных отказов значение вероятности безотказной работы  $P$ , подсчитывают по теореме умножения вероятностей (рис.

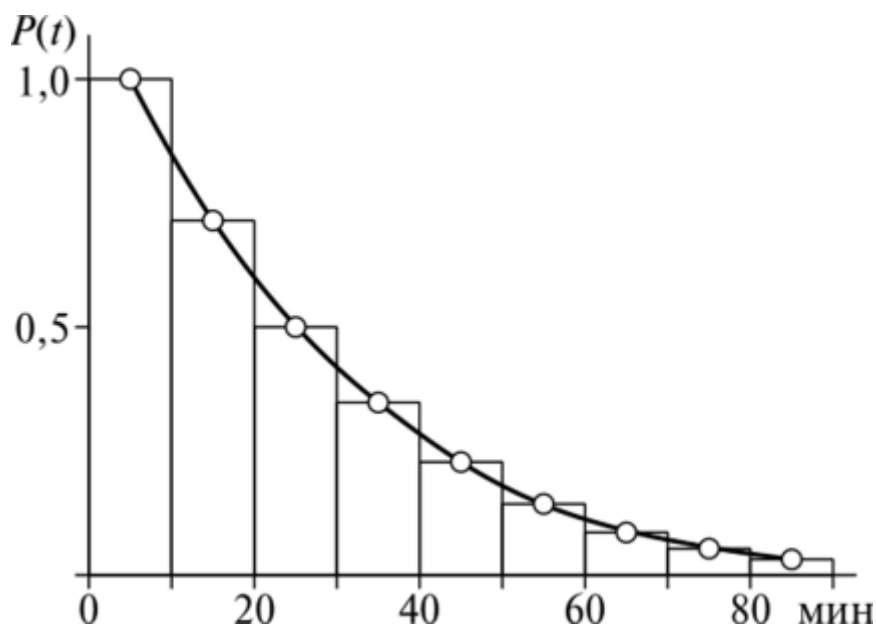
$$P_{\Sigma}(t) = P_{В}(t) \cdot P_{П}(t). \quad (2.2)$$

2.3):



**Рис. 2.3.** Зависимость вероятности безотказной работы  $P_z(t)$  от одновременного действия постепенных  $P_n(t)$  и внезапных  $P_в(t)$  отказов

Для оценки надежности применяют статистические методы, т.е. накапливают статистику по отказам, строят гистограммы и определяют показатели (рис. 2.4).



**Рис. 2.4.** Статистический метод оценки надежности

Для сложных объектов (систем) применяют единичный и комплексный показатели надежности.

**Единичный показатель** надежности — показатель, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта.

**Комплексный показатель надежности** — показатель, характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта.

В настоящее время для оценки надежности объекта применяют прогнозирование по специальным статистическим моделям (метод Монте-Карло).

## Оценка безотказности работы объекта

Для оценки безотказности работы объектов применяют следующие показатели.

**Вероятность безотказной работы** — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

**Гамма-процентная наработка до отказа** — наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Средняя наработка до отказа** — математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

**Средняя наработка на отказ** — отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

**Интенсивность отказов** — условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Для оценки безотказности технологического оборудования можно применять коэффициент надежности:

$$k_n = \frac{\delta}{\delta - \delta_n} \geq 1, \quad (2.3)$$

где  $\delta$  — допуск на обработку;  $\delta_n$  — запас по точности обработки (резерв).

## Специфика формирования показателей надежности технологического оборудования

Надежность и производительность технологического оборудования зависят от работоспособности многих узлов и механизмов. При этом следует учитывать воздействие трех основных источников: энергии окружающей среды; внутренней энергии (от рабочего процесса); потенциальной энергии, которая накоплена в деталях машины в процессе изготовления.

При работе станка действуют различные виды энергии (механическая, тепловая, химическая, электромагнитная), которые порождают вредные процессы, ухудшающие начальные параметры изделия (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Обобщенная структурная модель формирования показателей надежности и производительности технологического оборудования:

$\Delta_{н1}, \Delta_{н2}, \Delta_{н3}, \Delta_{н4}$  — показатели надежности;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5, \Delta_6, \Delta_7$  — погрешности от вибраций, износа режущего инструмента, позиционирования, от тепловых, упругих и геометрических деформаций, из-за износа станка соответственно

По скорости протекания различают процессы быстропротекающие, средней скорости и медленные.

Быстропротекающие процессы (вибрации, динамические процессы) действуют в течение долей секунд. Процессы средней скорости (тепловые деформации, износ режущих инструментов...) действуют в течение минут и часов (т.е. в межналадочный период). Медленные процессы (износ деталей) действуют в течение длительного времени (месяцы, годы) и приводят к потере точности. Указанные процессы приводят к погрешностям, которые ухудшают параметры качества обработки. Когда фактические значения параметров качества достигнут установленных предельных значений, произойдет отказ по точности. Частота отказов и время их устранения влияют на производительность и эффективность оборудования. Из-за отказов снижается коэффициент технического использования  $\Gamma_{\text{т}}$ , а следовательно, и фактическая производительность

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{T_p + \sum T_{\text{пр}}} = \frac{1}{(t_p + t_x + t_{\text{всп}}) + (\sum T_c + \sum T_{\text{орг}} + \sum T_{\text{пер}})}; \quad (2.4)$$

$$\eta_r = \frac{T_p}{T_p + \sum T_{\text{пр}}},$$

где  $t_p, t_x, t_{\text{всп}}$  — время рабочих и холостых ходов, вспомогательное

время;  $X/, X\text{-}^{\wedge}\text{орг}^{\wedge} X\text{-}^{\wedge}\text{пер}$  — потери времени (простои) из-за станка, организационных причин, переналадок;  $T_p$  — рабочее время;

$X\text{-}^{\wedge}\text{пр}$  — суммарное время простоев.

Коэффициент технического использования  $\Gamma_r$  численно равен доле времени работы станка (без учета организационных простоев) при условии обеспечения ее всем необходимым.

Время простоев станка из-за отказа равно:

$$\sum T_c = t_{\text{п.н}} + t_{\text{у.н}} + t_{\text{п}}, \quad (2.5)$$

где  $t_{\text{п.н}}, t_{\text{у.н}}, t_{\text{п}}$  — время поиска и устранения неисправностей, время пусконаладочных работ.

Значения  $\Gamma_r$  лежат в диапазоне  $0 < r_r < 1$ . При высокой степени надежности станков, т.е. при  $P(t) \sim 0,999 \rightarrow 1$ ,  $\varepsilon_m$  также стремится к единице.

## Контрольные вопросы

- 1. Как оценивается эффективность работы оборудования?
- 2. Что такое надежность оборудования?
- 3. Из каких составляющих складывается баланс эффективности использования технологического оборудования?
- 4. Как эффективность технологического оборудования зависит от надежности?
- 5. Какие виды отказов вы знаете?
- 6. Как оценивается уровень надежности объекта?
- 7. Что такое комплексный показатель надежности?
- 8. По каким показателям оценивается безотказность работы объекта?
- 9. Какие процессы, протекающие в технологическом оборудовании, можно отнести к быстропротекающим?
- 10. Чему равен коэффициент технического использования технологического оборудования?

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

***МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ  
К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ И КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТАМ***

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Направление

***15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств***

Профиль

***Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности***

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                      | 3  |
| Задача 1. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....                                | 4  |
| Задача 2. РАСЧЕТ ОДНОФАЗНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....                  | 12 |
| 2.1. Последовательное соединение в цепи синусоидального тока.....                                   | 12 |
| 2.2. Параллельное соединение в цепи синусоидального тока .....                                      | 14 |
| 2.3. Разветвленная цепь синусоидального тока .....                                                  | 16 |
| Задача 3. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ .....                                      | 22 |
| 3.1. Расчет трехфазных линейных электрических цепей при соединении фаз приемника звездой .....      | 22 |
| 3.2. Расчет трехфазных линейных электрических цепей при соединении фаз приемника треугольником..... | 25 |
| Задача 4. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.                                            | 27 |
| Задача 5. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....          | 33 |
| Задача 6. РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ .....      | 40 |
| ЗАДАЧА 7. РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ....                                             | 46 |
| 7.1. Неразветвленные магнитные цепи. ....                                                           | 46 |
| 7.1.1. Прямая задача. Определить МДС цепи по заданному магнитному потоку. ....                      | 49 |
| 7.1.2. Обратная задача. Определить магнитный поток в цепи по заданной МДС .....                     | 51 |
| 2.2. Разветвленная цепь синусоидального тока. ....                                                  | 57 |
| Задача 8. ТРАНСФОРМАТОРЫ.....                                                                       | 58 |
| Задача 9. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ.....                                               | 60 |
| Задача 10. ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ .....                               | 63 |

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Электротехника» изучает процессы в электрических и магнитных цепях, выявляет общие закономерности электромагнитных явлений и их прикладное применение для создания, передачи и распределения электроэнергии.

*Целью* преподавания дисциплины является теоретическая и практическая подготовка будущего инженера-электрика, инженера-электромеханика, инженера по автоматизации производственных процессов, развитие его творческих способностей, умение формировать и решать на высоком научном уровне проблемы осваиваемой специальности, умение творчески применять и самостоятельно повышать свои знания. Эти цели достигаются на основе повышения творческой активности и самостоятельной работы студентов.

Высокий научный и инженерный уровень дисциплины обусловлен глубоким проникновением в ее разделы законов и положений, которые даются в курсах «Физика» и «Математика».

### ***Выполнение контрольных заданий.***

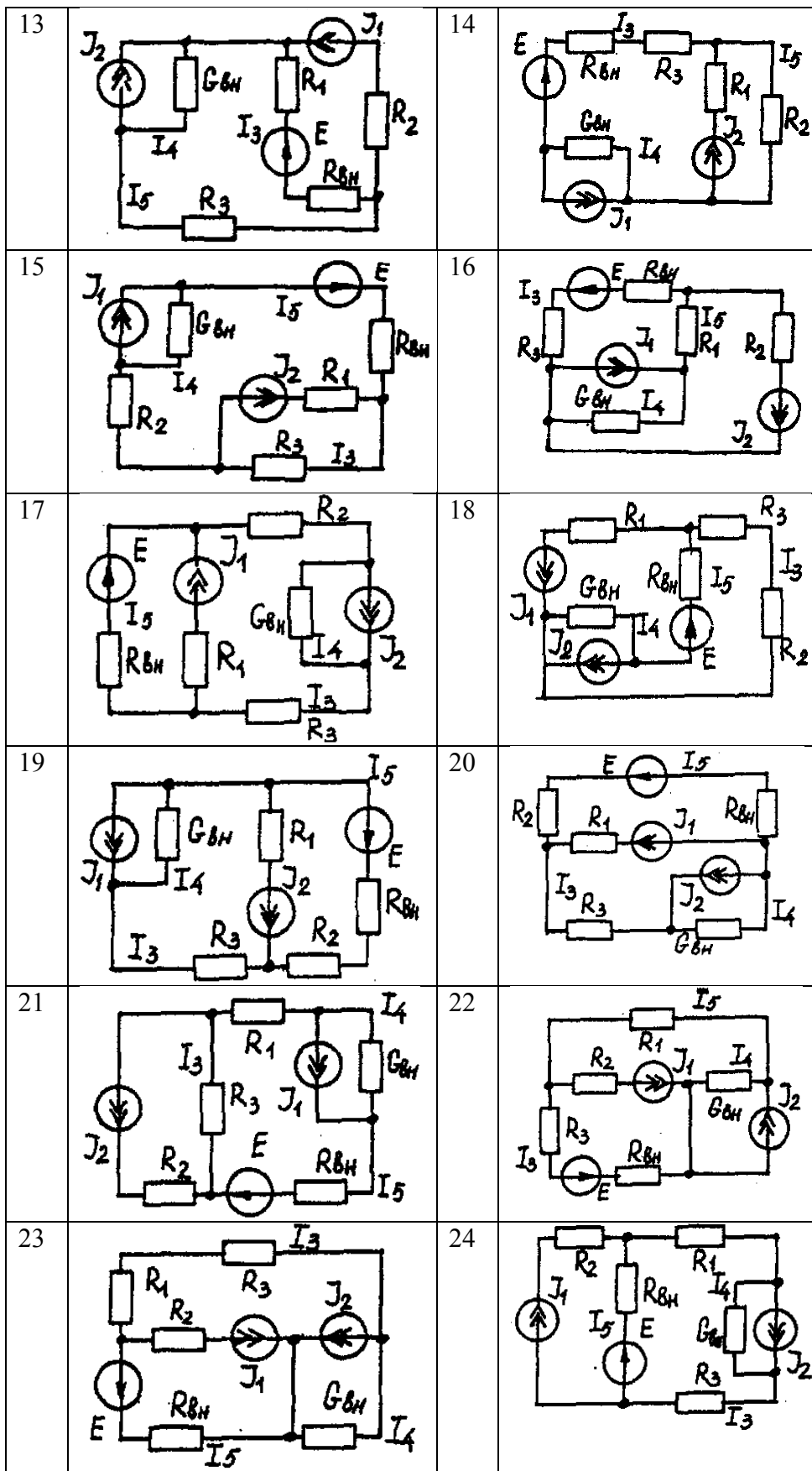
При выполнении контрольных заданий необходимо выполнить следующие требования:

1. Контрольные задания выполняют по данному методическому указанию.
2. Варианты задач в контрольных заданиях определяют по двум последним цифрам номера студенческого билета. Если две последние цифры превышают число 24 (общее количество вариантов), то номер варианта определяется по остатку от целочисленного деления этих цифр на число 24. • Например, двум последним цифрам 49-го номера студенческого билета соответствует первый вариант контрольного задания.
3. Контрольные задания выполняют в отдельной тетради, на обложке которой приводят сведения по следующей форме: фамилия, имя, отчество, номер студенческого билета, номер контрольного задания.
4. Графическую часть (схемы, графики) в контрольных заданиях выполняют карандашом, в масштабе, с указанием последнего.
5. Решение каждой задачи контрольного задания следует начинать с новой страницы.
6. Электрические схемы вычерчивают согласно стандарту.
7. Условие задачи выписывают полностью без сокращений.
8. Решения задач сопровождают краткими пояснениями.
9. Контрольные задания представляются для проверки до начала соответствующей лабораторно-экзаменационной сессии.
10. Если контрольное задание не зачтено, студент обязан, исправив ошибки указанные преподавателем, представить задание на повторную рецензию.
11. Студенты, не сдавшие на проверку соответствующих решенных контрольных заданий, к сдаче экзамена не допускаются.



# Задача 1. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

| №  | Схема варианта | №  | Схема варианта |
|----|----------------|----|----------------|
| 1  |                | 2  |                |
| 3  |                | 4  |                |
| 5  |                | 6  |                |
| 7  |                | 8  |                |
| 9  |                | 10 |                |
| 11 |                | 12 |                |



Условие задачи.

Для заданной электрической схемы (табл. 1.1) с известными параметрами (табл. 1.2) определить токи в ветвях цепи следующими методами:

- составления уравнений электрического равновесия по законам Кирхгофа;
- контурных токов;

- наложения;
- узловых потенциалов;
- эквивалентного генератора.

| Номер варианта | Значение параметров |                    |                    |                     |                     |                     |                      |                      |
|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                | E, В                | J <sub>1</sub> , А | J <sub>2</sub> , А | R <sub>1</sub> , Ом | R <sub>2</sub> , Ом | R <sub>3</sub> , Ом | R <sub>ВН</sub> , Ом | G <sub>ВН</sub> , См |
| 1              | 42                  | 35                 | 17                 | 10                  | 20                  | 5                   | 7                    | 0,5                  |
| 2              | 126                 | 6                  | 8                  | 1                   | 3                   | 2                   | 5                    | 0,25                 |
| 3              | 21                  | 5                  | 2                  | 5                   | 9                   | 3                   | 3                    | 0,2                  |
| 4              | 29                  | 3                  | 6                  | 2                   | 3                   | 4                   | 4                    | 0,2                  |
| 5              | 200                 | 25                 | 25                 | 8                   | 3                   | 1                   | 4                    | 0,5                  |
| 6              | 40                  | 10                 | 3                  | 5                   | 8                   | 5                   | 2                    | 0,5                  |
| 7              | 50                  | 3                  | 25                 | 3                   | 5                   | 2                   | 3                    | 0,2                  |
| 8              | 20                  | 10                 | 8                  | 4                   | 8                   | 2                   | 6                    | 1                    |
| 9              | 50                  | 22                 | 6                  | 4                   | 5                   | 2                   | 3                    | 0,1                  |
| 10             | 140                 | 20                 | 7                  | 5                   | 1                   | 4                   | 6                    | 0,2                  |
| 11             | 104                 | 28                 | 13                 | 5                   | 2                   | 3                   | 2                    | 0,1                  |
| 12             | 150                 | 4                  | 6                  | 3                   | 4                   | 6                   | 5                    | 0,2                  |
| 13             | 43                  | 4                  | 28                 | 2                   | 5                   | 1                   | 3                    | 0,2                  |
| 14             | 82                  | 2                  | 3                  | 6                   | 4                   | 5                   | 6                    | 0,2                  |
| 15             | 52                  | 2                  | 1                  | 3                   | 1                   | 2                   | 2                    | 0,2                  |
| 16             | 204                 | 1                  | 5                  | 2                   | 3                   | 1                   | 3                    | 0,4                  |
| 17             | 110                 | 11                 | 9                  | 2                   | 3                   | 3                   | 2                    | 0,5                  |
| 18             | 72                  | 2                  | 1                  | 4                   | 1                   | 3                   | 6                    | 0,2                  |
| 19             | 42                  | 2                  | 5                  | 3                   | 3                   | 4                   | 5                    | 0,1                  |
| 20             | 8                   | 6                  | 2                  | 6                   | 1                   | 2                   | 2                    | 0,05                 |
| 21             | 187                 | 10                 | 6                  | 2                   | 6                   | 7                   | 4                    | 0,5                  |
| 22             | 144                 | 5                  | 15                 | 4                   | 3                   | 2                   | 4                    | 0,5                  |
| 23             | 84                  | 6                  | 5                  | 3                   | 3                   | 6                   | 3                    | 0,5                  |
| 24             | 103                 | 12                 | 6                  | 4                   | 3                   | 1                   | 3                    | 0,5                  |

**Метод составления уравнений электрического равновесия по законам Кирхгофа**

**Методические указания.**

Этот метод основан на составлении и совместном решении системы уравнений электрического равновесия, составленных по первому и второму законам Кирхгофа. Общее число независимых уравнений ( $i$ ) должно быть равно числу неизвестных токов, то есть числу ветвей электрической схемы ( $p$ ) за исключением ветвей, содержащих источник тока.

**Последовательность решения.**

Выбрать условное положительное направление токов в ветвях. По первому закону Кирхгофа для схемы, содержащей ( $q$ ) узлов, составить ( $q - 1$ ) уравнений электрического равновесия. По второму закону Кирхгофа составить [ $p - (q - 1)$ ] уравнений электрического равновесия для независимых контуров. При составлении уравнений электрического равновесия следует обратить внимание на знаки. Если заданное или произвольно выбранное направление токов и э. д. с. совпадают с выбранным обходом контуров, то перед ними в уравнениях электрического равновесия ставят знак плюс, знак у падений напряжений берется в соответствии со знаком тока.

Решить полученную систему уравнений электрического равновесия относительно неизвестных токов в ветвях.

Выполнить проверку полученного решения по первому закону Кирхгофа для узлов заданной электрической схемы.

### *Метод контурных токов*

#### **Методические указания.**

Этот метод заключается в представлении действительных токов в ветвях, являющихся общими для двух или большего числа смежных контуров, алгебраической суммой составляющих, каждая из которых является током, замыкающимся в одном из выбранных контуров. Эти составляющие называются контурными токами. При решении задачи этим методом в расчет вводят контурные токи, составляют уравнения электрического равновесия только на основании второго закона Кирхгофа. Вычислив контурные токи, определяют действительные токи в ветвях.

#### **Последовательность решения.**

Выбрать для рассматриваемой схемы независимые контуры, не содержащие источники тока ( $J$ ).

Задавшись положительными направлениями обхода контуров, составить для выбранных независимых контуров уравнения электрического равновесия по второму закону Кирхгофа, принимая направления контурных токов, совпадающими с выбранным обходом контуров. В уравнениях электрического равновесия учитывать и падения напряжений, обусловленные источниками тока ( $J$ ) на соответствующих сопротивлениях рассматриваемого контура. Определить контурные токи.

Вычислить действительные токи ветвей как алгебраические суммы токов как контурных, так и источников тока, протекающих через рассматриваемую ветвь.

### *Метод наложения*

#### **Методические указания.**

Этот метод основан на том, что действительный ток в рассматриваемой ветви равен алгебраической сумме составляющих токов в этой ветви, вызванных каждой из э. д. с. и источника тока в отдельности при исключении действия остальных источников э. д. с. и тока.

#### **Последовательность решения.**

Составить (нарисовать) электрические цепи с одним источником э. д. с. или тока, при этом зажимы остальных источников тока размыкать, а источники э. д. с. замыкать накоротко.

Задаться положительными направлениями токов в ветвях.

Определить составляющие - токов в ветвях, вызванных рассматриваемым источником.

Определить действительные токи ветвей как алгебраическую сумму составляющих.

### *Метод узловых потенциалов*

#### **Методические указания.**

Этот метод заключается в определении потенциалов узлов, на основании чего вычисляются токи в ветвях по закону Ома. Потенциалы узлов определяются на основании системы уравнений электрического равновесия (1.1), составленных по первому закону Кирхгофа. При этом токи в уравнениях электрического равновесия выражают через потенциалы согласно закону Ома для участка цепи. Потенциал одного из узлов принимается равным нулю.

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 G_{11} - \varphi_1 G_{12} - \varphi_2 G_{12} &= I_{11} \\ -\varphi_1 G_{21} - \varphi_1 G_{22} - \varphi_2 G_{22} &= I_{22} \\ -\varphi_1 G_{31} - \varphi_1 G_{32} - \varphi_2 G_{32} &= I_{33} \end{aligned} \right\} (1.1)$$

Где  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$  - потенциалы узлов;  $G_{11}, G_{22}, G_{33}, \dots$  - собственная (узловая) проводимость, равная сумме проводимостей всех ветвей, сходящихся в этом узле, без учета проводимостей ветвей с источниками тока;  $G_{12}, G_{13}, G_{23}, G_{21}, G_{31}, G_{32}, \dots$  - взаимная проводимость, равная сумме проводимостей ветвей между двумя узлами, без учета проводимостей ветвей с источниками тока;  $I_{11}, I_{22}, I_{33}, \dots$  - узловой ток, равный алгебраической сумме токов ( $J$ ) источников тока и произведений ( $G \cdot E$ ) (э. д. с. ветвей, сходящихся в рассматриваемом узле, на их проводимости); эти величины входят в выражения узловых токов со знаком плюс, если токи ( $J$ ) и э. д. с. ( $E$ ) направлены к рассматриваемому узлу.

**Последовательность решения.**

Пронумеровать узлы. Потенциал одного из узлов принять равным нулю.

Составить систему ( $q - 1$ ) уравнений электрического равновесия (1.1) Вычислить собственные и взаимные проводимости, узловые токи и подставить в систему уравнений электрического равновесия (1.1).

Определить потенциалы узлов, решив систему уравнений электрического равновесия (1.1). Определить токи ветвей по закону Ома.

Ток ветви равняется разности потенциалов двух узлов, деленной на сопротивление ветви,

$$I_{\text{ветви}} = [ (\varphi_k - \varphi_n - E) ] / \sum R_{\text{ветви}} \quad (1.2)$$

### Метод эквивалентного генератора

#### Методические указания.

Этот метод основан на применении теоремы об активном двухполюснике. Согласно теоремы любой активный двухполюсник, содержащий один или несколько источников энергии, можно заменить эквивалентным генератором, э. д. с. которого равна напряжению холостого хода на зажимах выделенной ветви, а внутреннее сопротивление равно входному сопротивлению двухполюсника (рис. 1.1).

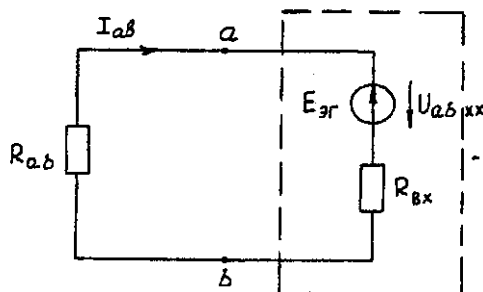


Рис. 1.1. К методу эквивалентного генератора

При определении тока, например, в ветви  $ab$  любой электрической схемы, эту схему представляют в виде двух частей: рассматриваемой ветви  $ab$  и остальной части схемы - эквивалентного генератора ( $E_{эГ}$ ). Ток в ветви  $ab$  определяют по формуле:

$$I_{ab} = U_{ab \text{ хх}} / (R_{ab} + R_{вх}) \quad (1.3)$$

где  $U_{ab \text{ хх}}$  - напряжение холостого хода активного двухполюсника (эквивалентного генератора) относительно зажимов рассматриваемой ветви;  $R_{вх}$  - входное сопротивление пассивного двухполюсника относительно зажимов  $ab$ ;  $R_{ab}$  - сопротивление рассматриваемой ветви  $ab$ .

#### Последовательность решения.

Определить напряжение  $U_{ab \text{ хх}}$  с помощью одного из известных методов расчета электрических цепей, согласно исходной схеме без рассматриваемой ветви  $ab$ .

Вычислить входное сопротивление  $R_{вх}$  пассивного двухполюсника, т. е. сопротивление исходной электрической цепи относительно точек  $ab$  без ветви  $ab$ , при замкнутых источниках токов э. д. с. и разомкнутых источников токов.

Вычислить ток в рассматриваемой ветви  $ab$  (см. рис. 1.1) по формуле (1.3).

#### Пример решения задачи

Для заданной электрической цепи (рис. 1.2) с параметрами:  $E=65,5$  В;  $J_1=3,5$  А;  $J_2 = 8$  А;  $R_1 = 9$  Ом;  $R_2 = 7$  Ом;  $R_3 = 5$  Ом;  $R_{вн} = 3$  Ом;  $G_{вн} = 0,5$  См, определить токи в ветвях.

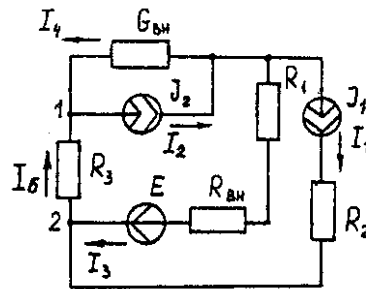


Рис. 1.2. Схема заданной электрической цепи

### Метод составления уравнений электрического равновесия по законам Кирхгофа

В рассматриваемой электрической цепи неизвестными являются три тока ( $I_3, I_4, I_5$ ), для определения этих токов необходимо иметь систему из трех уравнений электрического равновесия, которые составляем по законам Кирхгофа: два уравнения электрического равновесия по первому закону Кирхгофа, предварительно задавшись положительными направлениями токов в ветвях (для узлов 1 и 2); третье уравнение электрического равновесия по второму закону Кирхгофа. Принимаем контур ( $R_3 - G_{вн} - R_1 - R_{вн} - E$ ), минуя ветви с источниками тока, и задаемся положительным направлением его обхода (см. рис. 1.2.)

$$\left. \begin{aligned} I_4 - J_2 + I_5 &= 0; \\ I_2 + J_1 - I_5 &= 0; \\ I_2 R_3 - I_4 1/G_{вн} + I_2 (R_1 + R_{вн}) &= E. \end{aligned} \right\} (1.4)$$

$$\left. \begin{aligned} I_4 - 8 + I_5 &= 0; \\ I_2 + 3,5 - I_5 &= 0; \\ I_2 5 - I_4 * 1/0,5 + I_2 (9 + 3) &= 65,5. \end{aligned} \right\} (1.5)$$

В результате решения системы уравнений (1.5) получим:  $I_3 = 3$  А;  $I_4 = 1,5$  А;  $I_5 = 6,5$  А.

### Метод контурных токов

Для определения трех неизвестных токов выбираем три независимых контура (рис 1.3) и задаемся положительными направлениями их обхода, совмещая положительные направления контурных токов  $I_{11}, I_{22}, I_{33}$  с направлениями их обхода  $I_{11}=J_1=3,5$  А ;  $I_{22}=J_2=8$  А.

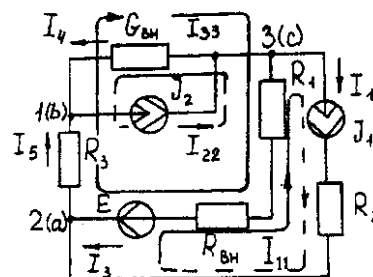


Рис. 1.3. Схема электрической цепи для метода контурных токов

Таким образом, неизвестным является лишь контурный ток  $I_{33}$ . Для третьего контура ( $R_3 - G_{вн} - R_3 - R_{вн} - E$ ) составляем уравнение электрического равновесия по второму закону Кирхгофа и определяем контурный ток  $I_{33}$

$$-I_{11}(R_1 + R_{вн}) - I_{22} * 1/G_{вн} + I_{33}(R_1 + R_{вн} + R_3 + 1/G_{вн}) = E; (1.6)$$

$$-3,5(9 + 3) - 8 * 1/0,5 + I_{33} (9 + 3 + 5 + 1/0,5) = 65,5;$$

отсюда  $I_{33} = 6,5$  А.

Действительные токи в ветвях:

$$I_3 = I_{33} - I_{11} = 6,5 - 3,5 = 3 \text{ А};$$

$$I_4 = I_{22} - I_{33} = 8 - 6,5 = 1,5 \text{ A},$$

$$I_5 = I_{33} = 6,5 \text{ A}.$$

### Метод узловых потенциалов

Заземляем один из узлов (например 3, рис. 1.4), потенциал этого узла ( $\varphi_3$ ) теперь равен нулю. Для определения потенциалов двух других узлов составляем систему из двух уравнений электрического равновесия по первому закону Кирхгофа:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 G_{11} - \varphi_2 G_{12} &= I_{11} \\ -\varphi_1 G_{21} - \varphi_2 G_{22} &= I_{22} \end{aligned} \right\} (1.7)$$

$$G_{11} = G_{\text{вн}} + 1/R_3 = 0,5 + 1/5 = 0,7 \text{ См}; G_{12} = G_{21} = 1/R_3 = 1/5 = 0,2 \text{ См}; G_{22} = 1/R_3 + 1/(R_1 + R_{\text{вн}}) = 1/5 + 1/(9 + 3) = 0,28 \text{ См}.$$

$$I_{11} = -J_2 = -8 \text{ A}; I_{22} = J_1 + E/(R_1 + R_{\text{вн}}) = 3,5 + 65/(9 + 3) = 9 \text{ A}.$$

$$\left. \begin{aligned} 0,7\varphi_1 - 0,2\varphi_2 &= -8 \\ -0,2\varphi_1 - 0,28\varphi_2 &= 9 \end{aligned} \right\}$$

откуда  $\varphi_1 = -3 \text{ В}; \varphi_2 = 29,5 \text{ В}.$

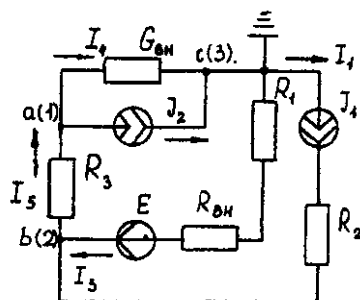


Рис. 1.4. Схема электрической цепи для метода узловых потенциалов

Токи в ветвях:

$$I_3 = [(\varphi_1 - \varphi_2) + E] \cdot 1/(R_1 + R_{\text{вн}}) = [(0 - 29,5) + 65,5] \cdot 1/(9 + 3) = 3 \text{ A};$$

$$I_4 = (\varphi_2 - \varphi_1) \cdot G_{\text{вн}} = (0 + 3) \cdot 0,5 = 1,5 \text{ A};$$

$$I_5 = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot 1/R_3 = (-3 - 29,5) \cdot 1/5 = -6,5 \text{ A}.$$

Знак "-" у тока  $I_5$  указывает на то, что действительное направление тока противоположно выбранному.

### Метод наложения

Определяем составляющие токов в ветвях ( $I_3', I_4', I_5'$ ), вызванные источником э. д. с. (E) при исключении источников тока ( $J_1$ ) и ( $J_2$ ) (рис. 1.5, а). Направление токов в цепи определяется согласно направлению источника э. д. с. (E)

$$I_3' = I_4' = I_5' = E/(R_1 + R_{\text{вн}} + R_3 + 1/G_{\text{вн}}) = 65,5/(9 + 3 + 5 + 1/0,5) = 3,45 \text{ A}.$$

Определяем составляющие токов в ветвях ( $I_3'', I_4'', I_5''$ ), вызванные источником тока ( $J_1$ ) (рис. 1.5, б) при исключении источника тока ( $J_2$ ) и источника, э. д. с. (E) которого закорачивается. Направление токов в ветвях определяется согласно направлению ( $J_1$ ).

$$I_3'' = J_1(R_3 + 1/G_{\text{вн}})/(R_1 + R_{\text{вн}} + R_3 + 1/G_{\text{вн}}) = 3,5(5 + 2)/(9 + 3 + 5 + 2) = 1,3 \text{ A};$$

$$I_4'' = I_5'' = J_1 - I_3'' = 3,5 - 1,3 = 2,2 \text{ A}.$$

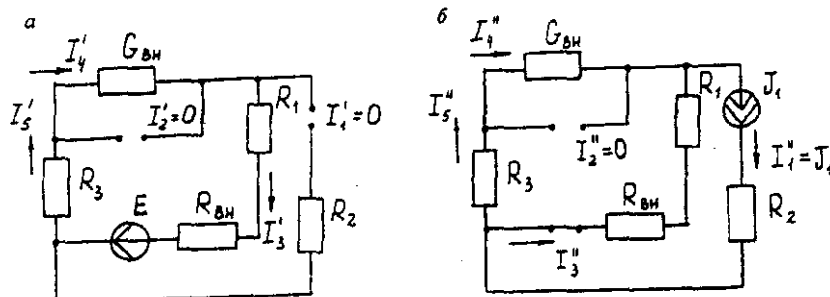


Рис. 1.5. Схема электрической цепи для метода наложения при исключении источника тока (а) и вызванные источником тока (б)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

***МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ***

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Направление

***15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств***

Профиль

***Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности***

Екатеринбург



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                  |   |
|----------------------------------------------------------------------------------|---|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                   | 3 |
| ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА .....                                       | 4 |
| МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО<br>КОНТРОЛЯ ..... | 4 |
| Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса .....               | 4 |
| Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам .....                  | 5 |
| Подготовка и написание контрольной работы .....                                  | 6 |
| Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) .....              | 7 |
| МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ<br>АТТЕСТАЦИИ .....      | 8 |
| Подготовка к зачёту .....                                                        | 8 |
| Подготовка к экзамену .....                                                      | 8 |

## 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;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

*для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:*

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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, 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 положений 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.

### **Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)**

*Курсовая работа (проект)* – форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

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:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

## **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».

### **Подготовка к экзамену**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико-ориентированные задания.

*Теоретический вопрос* – 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.

*Практико-ориентированное задание* – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- 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 экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.



ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра метрологии и управления качеством**

Допущены  
к проведению занятий в 2016-2017 уч.году  
Заведующий кафедрой  
Доцент Кремчеев Э.А.

«\_\_» сентября 2016 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**  
для проведения практических занятий по учебной дисциплине

**«МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И  
ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»**

Направление подготовки: *11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»*

Профиль: *«Промышленная электроника»*

Разработал: *доцент Сытько И.И.*

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры  
Протокол № 7 от 31 августа 2016 г.*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2016**

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и технические измерения» относится к циклу профессиональных дисциплин и изучается студентами в течение 6 семестра.

В рамках курса изучаются теоретические основы метрологии и стандартизации, принципы действия средств измерений и методы измерений типовых физических величин; основные метрологические правила, требования и нормы; правила обработки результатов измерений и оценивания погрешностей измерений; порядок выбора методов и средств измерений.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и предназначены для студентов направления бакалавриата 11.03.04 – «Электроника и нанoeлектроника».

Методические указания включают теоретическое введение, практические и домашние задания и указания к их выполнению.

В соответствии с учебным расписанием со студентами проводится 8 практических занятий. После выполнения практической части заданий студенты защищают свою работу, отвечая преподавателю на вопросы по теме занятия.

Целью практических занятий является закрепление знаний, полученных при изучении теоретического курса дисциплины «Метрология, стандартизация и технические измерения», умение решать задачи, связанные с измерением различных физических величин, правильно выбирать и применять средства измерений, осуществлять обработку результатов измерений и оценивания погрешностей измерений, производить расчет рядов взаимосвязанных параметров и заполнять бланк сертификата соответствия.

Варианты и значения исходных данных практических заданий определяются студентами в соответствии с его собственным шифром.

При выполнении практических заданий условие заданий переписываются полностью. Каждый расчет следует сопровождать необходимым пояснением, приведением необходимого расчетного выражения и анализом полученных результатов.

Для самоконтроля знаний при подготовке к практическим занятиям после каждого практического занятия приведены контрольные вопросы, на которые студентам необходимо ответить. В методических указаниях приведен библиографический список, которым студенты могут воспользоваться как при подготовке к практическим занятиям, так и при выполнении домашних заданий.

## Практическое занятие № 1. Применение теории размерности для проверки правильности формул

**Цель занятия** – умение применять правила теории размерности для проверки правильности формул.

### *Основные теоретические положения*

Измерение как основной объект метрологии связаны с физическими величинами, так и с величинами, относящимися к другим наукам. Далее будут рассматриваться понятия, относящиеся к физическим величинам.

Качественной характеристикой физических величин является размерность [1, 3]. Она обозначается символом  $dim$ , происходящим от слова *dimension*, которое в зависимости от контекста может переводиться и как размер, и как размерность.

Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Для длины, массы и времени, например,

$$dim \ell = L; \quad dim m = M; \quad dim t = T.$$

Размерность производных физических величин через размерности основных физических величин выражается с помощью степенного одночлена

$$dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\varphi} \Theta^{\eta} N^{\nu} J^{\nu} \quad (1)$$

где  $L, M, T, \dots$  – размерности соответствующих основных физических величин;  
 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  – показатели размерности.

Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулём. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной. Она может быть относительной, определяемой как отношение одноимённых величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), или логарифмической, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

1. Размерности правой и левой частей уравнения не могут не совпадать, т.к. сравниваться между собой могут только одинаковые свойства. Алгебраически могут суммироваться только величины, имеющие одинаковые размерности.

2. Алгебра размерностей мультипликативная, т.е. состоит из одного единственного действия – умножения.

Теория размерности повсеместно применяется для оперативной проверки правильности формул.

Формальное применение алгебры размерностей иногда позволяет определить неизвестную зависимость между физическими величинами.

**Задание 1.** Задание состоит из 4-х вариантов. Студенты, чей шифр оканчивается на четную цифру, решают четные варианты; те, чей шифр оканчивается на нечетную цифру – нечетные. При решении вариантов задания необходимо использовать ГОСТ 8.417-2002. «ГСИ. Единицы величин».

**Вариант 1.** Скорость электрона в электрическом поле определяется выражением

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}},$$

где  $e$  – заряд электрона;  $m_e$  – масса электрона;  $U$  – напряжение в вольтах.

Проверить правильность выведенной формулы.

**Вариант 2.** Мощность электрического тока определяется по формуле

$$P = I^2 \cdot R,$$

где  $I$  – сила электрического тока;  $R$  – сопротивление электрической цепи.

Проверить правильность выведенной формулы.

**Вариант 3.** В результате исследований установлено, что на тело, погруженное в жидкость, действует подъемная сила (выталкивающая), направленная вверх. Очевидно, ее величина равна весу вытесненной телом жидкости. Следовательно, выталкивающая сила  $F_g$  должна зависит от объема вытесненной телом жидкости  $V$ , плотности жидкости  $\rho$  и ускорения свободного падений  $g$ . Какой вид этой зависимости.

**Вариант 4.** Радиус круговой траектории электрона, движущийся в магнитном поле по окружности, определяется по формуле

$$R = \frac{m_e \cdot V}{e \cdot B},$$

где  $R$  – радиус круговой траектории электрона;  $e$  – элементарный электрический заряд электрона;  $m_e$  – масса электрона;  $B$  – магнитная индукция;  $V$  – скорость электрона.

Проверить правильность выведенной формулы.

**Задание 2.** Температурная шкала Фаренгейта ( $F$ ) построена из расчета, что температуре тающего льда  $+32 \text{ } ^\circ F$ , а температура кипящей воды составляет  $+212 \text{ } ^\circ F$ . Выведите формулу перевода шкалы Фаренгейта в международную стоградусную шкалу (шкалу Цельсия), укажите, какие температурные точки этих шкал совпадают.

**Задание 3.** Напишите формулы размерности, выразите через основные единицы системы  $SI$  и приведите наименования единиц следующих электрических величин: частоты; энергии; работы, количества теплоты; мощности; количества электричества; электрического напряжения, электрического потенциала, разности потенциалов, электродвижущей силы; электрического сопротивления; электрической проводимости; электрической емкости.

**Задание 4.** Какие из величин, приведенных в табл.1 относят к: основным единицам системы  $SI$ ; производным единицам системы  $SI$ ; внесистемным единицам, допустимым к применению наравне с единицами  $SI$ ; внесистемным единицам, временно допустимым к применению; относительным; логарифмическим.

Таблица 1

| Последняя цифра шифра | Наименование единицы |       |              |         |         |       |
|-----------------------|----------------------|-------|--------------|---------|---------|-------|
|                       | 1                    | 2     | 3            | 4       | 5       | 6     |
| 0                     | метр                 | ватт  | тонна        | процент | люкс    | вар   |
| 1                     | вольт-ампер          | бар   | килограмм    | вольт   | ампер   | бел   |
| 2                     | ампер-час            | литр  | промилле     | секунда | паскаль | фон   |
| 3                     | ньютон               | текс  | гектар       | фарад   | ампер   | метр  |
| 4                     | морская миля         | кулон | децибел      | градус  | тесла   | карат |
| 5                     | киловатт-час         | метр  | морская миля | моль    | октава  | герц  |
| 6                     | кельвин              | час   | фарад        | ватт    | литр    | узел  |
| 7                     | оборот в секунду     | бел   | джоуль       | ом      | кандела | моль  |
| 8                     | оборот в минуту      | генри | сименс       | декада  | литр    | гал   |
| 9                     | тесла                | сутки | килограмм    | непер   | вебер   | час   |

Для выполнения задания №4 студент выбирает исходные данные из табл. 1 по последней цифре собственного шифра.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком году была принята Международная система единиц?
2. С какого года Международная система единиц является обязательной в Советском Союзе и странах Восточной Европы?
3. Сколько основных единиц физических величин включает Международная система единиц физических величин?
4. Почему в отличие от числового значения, значение и размер от выбора единиц не зависит?
5. Приведите примеры относительных величин?
6. Поясните правила определения размерности производных величин?
7. Поясните, как образуют когерентные производные единицы?
8. Приведите примеры логарифмических величин?

### Практическое занятие № 2. Применение методов измерения типовых физических величин

**Цель занятия** – умение правильно выбирать и применять методы измерения типовых физических величин.

#### *Основные теоретические положения*

Среди основных элементов процесса измерения следует выделить метод измерения, которые ввиду многообразия физических величин и принципов измерения весьма разнообразны [1, 5 8, 12]. В общем плане классификация методов измерений представлена на рис. 1.

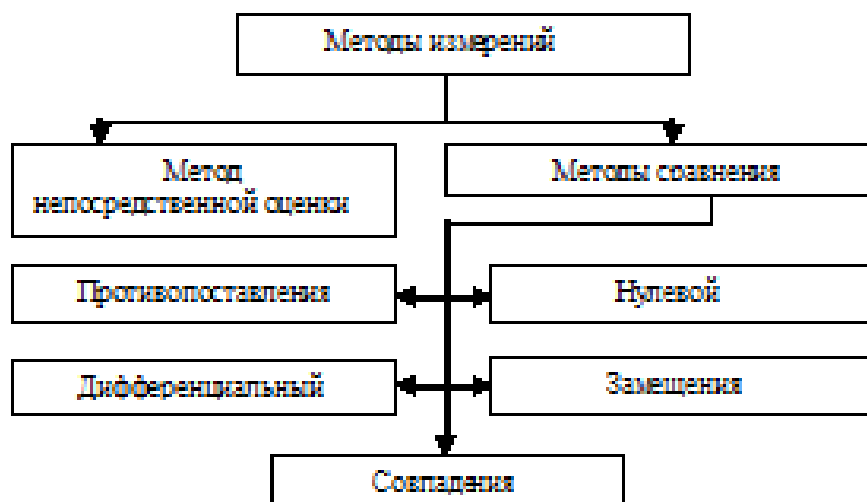


Рис.1. Методы измерений

*Метод измерений* – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Метод измерения должен иметь минимальную погрешность измерения и способствовать исключению систематических погрешностей или переводу их в разряд случайных [5, 8].

На рис.1 представлена общая схема классификации методов измерений. Однако методы измерения могут быть классифицированы и по другим признакам. Например, по физическому принципу, положенному в основу измерений, по режиму взаимодействия средства измерений с объектом измерений, от условий взаимодействия чувствительного элемента средства измерений и объекта измерений и т.д. [5].

*Принцип измерения* – это физическое явление или эффект, положенное в основу измерений. Например, явление электрического резонанса в колебательном контуре положено в основу измерения частоты электрического сигнала резонансным методом. Или методы измерения температуры основаны на изменении электрического сопротивления тел при изменении температуры [1, 5].

Методы измерения конкретных физических величин очень разнообразны. В общем плане различают метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

*Метод непосредственной оценки* состоит в том, что значение измеряемой величины определяется непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора. Измерительный прибор, в котором реализован метод непосредственной оценки, обязательно содержит отсчетное устройство в виде шкалы и стрелочного (светового) указателя или цифрового табло.

*Метод сравнения с мерой* состоит в том, что измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метод сравнения с мерой имеет ряд разновидностей (рис.1). Это метод противопоставления, нулевой метод, метод замещения, дифференциальный метод и метод совпадения.

*Метод противопоставления* состоит в том, что измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на устройство сравнения, с

помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Например, измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями. Измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известным значением ЭДС нормального элемента [4, 5, 12].

*Нулевой метод* состоит в том, что результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием [5] (рис. 2).

*Метод замещения* заключается в том, что измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины (рис.3). Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов (метод Борда) [1, 5].

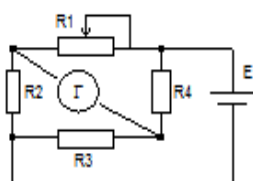


Рис.2. Схема одинарного моста

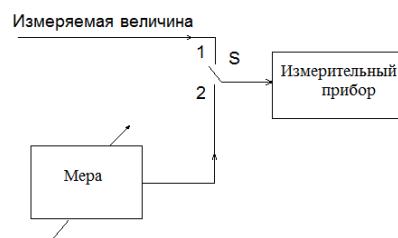


Рис.3. Метод замещения

*Дифференциальный метод* заключается в том, что измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Например, измерение частоты цифровым частотомером с гетеродинным переносчиком частоты (рис.4) [4, 5].

*Метод совпадения* заключается в том, что разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов (рис.5). Например, измерения частоты вращения стробоскопом или измерение линейных размеров штангенциркулем с нониусной шкалой.

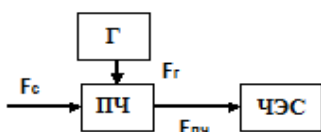


Рис.4. Дифференциальный метод  
(Γ – гетеродин, ПЧ – преобразователь частоты, ЧЭС – частотомер электронно-счетный)

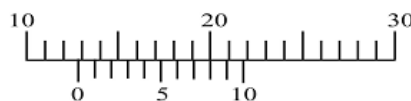


Рис.5. Метод совпадения

Необходимо различать метод измерений и методика выполнения измерений. *Методика выполнения измерения* – это установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом [8].

**Задание 1.** Определить значение сопротивления  $R_x$  (рис.6), измеренного методом замещения, если при подключении образцового сопротивления  $R_0$  к источнику напря-

жения  $E$  отклонение указателя отсчетного устройства гальванометра составило  $n_0=50$  делений (положение 1 переключателя  $S$ ).

При переключении на измеряемое сопротивление  $R_x$  (положение 2 переключателя  $S$ ) отклонение указателя отсчетного устройства гальванометра составило  $n_x$  делений. Внутреннее сопротивление гальванометра составляет  $R_g$ .

Для выполнения задания №1 студент выбирает исходные данные из табл. 2 по последней цифре собственного шифра.

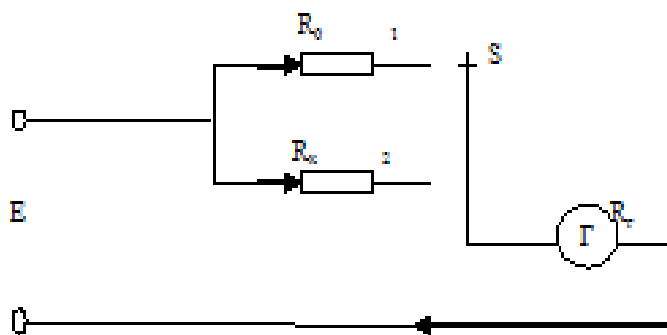


Рис.6. Схема измерения сопротивления методом замещения

Таблица 2

| Данные       | Последняя цифра шифра |         |            |
|--------------|-----------------------|---------|------------|
|              | 1, 2, 3               | 4, 5, 6 | 7, 8, 9, 0 |
| $n_x$ , дел. | 10                    | 15      | 20         |
| $R_0$ , кОм  | 100                   | 150     | 200        |
| $R_2$ , кОм  | 0,5                   | 0,8     | 0,4        |

**Задание 2.** В схеме аналогового прибора для измерения сопротивления на постоянном токе используется метод одного амперметра (рис.7). Написать выражение, связывающее ток  $I$  с элементами цепи:  $E$ ,  $R_{огр}$ ,  $R_x$  и  $R_a$ .

Вычислить значение  $R_{огр}$  для измерения  $R_x$  в диапазоне (0 – 300) кОм, если ЭДС источника составляет  $E$ , падение напряжения магнитоэлектрического микроамперметра  $U_a=75$  мВ, а ток полного отклонения  $I_a=50$  мкА.

Для выполнения задания №2 студент выбирает исходные данные из табл. 3 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 3

| Данные  | Последняя цифра шифра |         |            |
|---------|-----------------------|---------|------------|
|         | 1, 2, 3               | 4, 5, 6 | 7, 8, 9, 0 |
| $E$ , В | 1,5                   | 2       | 2,5        |



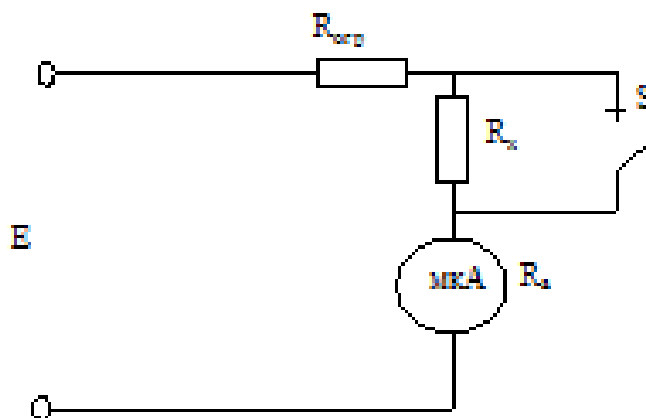


Рис.7. Схема измерения сопротивления методом одного амперметра

**Задание 3.** В схеме аналогового прибора для измерения сопротивления на постоянном токе используется метод одного амперметра (рис.8). Написать выражение, связывающее ток  $I$  с элементами цепи:  $E$ ,  $R_{опр}$ ,  $R_x$  и  $R_a$ .

Вычислить значение  $R_{опр}$  для измерения  $R_x$  в диапазоне (0 – 300) Ом, если ЭДС источника составляет  $E$ , падение напряжения магнитоэлектрического микроамперметра  $U_a=75$  мВ, а ток полного отклонения  $I_a=50$  мкА.

Для выполнения задания №3 студент выбирает исходные данные из табл. 4 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 4

| Данные | Последняя цифра шифра |         |            |
|--------|-----------------------|---------|------------|
|        | 1, 2, 3               | 4, 5, 6 | 7, 8, 9, 0 |
| $E, В$ | 1,5                   | 2       | 2,5        |

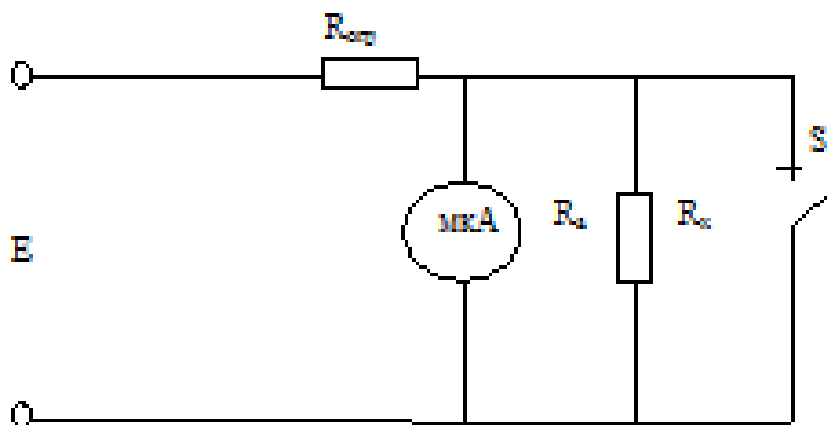


Рис.8. Схема измерения сопротивления методом одного амперметра

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните в чем отличие метода измерения от методики выполнения измерения?

2. Приведите примеры физических явлений или эффектов, положенных в основу измерений электрических величин?

3. Поясните физическую сущность измерения электрического сопротивления на основе использования нулевого метода измерения?

### Практическое занятие № 3. Расчет погрешностей измерений

**Цель занятия** – умение оценивать погрешности прямых и косвенных измерений.

#### *Основные теоретические положения*

Погрешность результата однократного измерения оценивается по известным метрологическим характеристикам применяемых средств измерений (СИ) с учетом метода и условий выполнения измерений.

При выполнении однократных измерений в нормальных условиях погрешность измерений определяется пределом абсолютной основной погрешности СИ и вычисляется через его класс точности.

*Класс точности СИ* – это обобщенная характеристика данного типа СИ, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность СИ одного типа. Классы точности СИ выбирают из ряда (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0)·10<sup>n</sup>, n=1; 0; -1; -2 [2].

Примеры обозначения классов точности СИ и формулы для определения пределов допускаемых погрешностей приведены в табл. 5.

При измерениях в условиях отличных от нормальных, доминирующее значение приобретают дополнительные погрешности измерений.

При рабочих условиях измерений абсолютная погрешность определяется по формуле

$$\Delta = \sqrt{\Delta_0^2 + \sum_{j=1}^k \Delta_j^2}, \quad (2)$$

где  $\Delta_0$  – основная погрешность СИ;  $\Delta_j$  – j-ая дополнительная погрешность СИ.

*Косвенные измерения* [5, 6, 7, 8, 9, 12]. При косвенных измерениях значение неизвестной величины находят путем прямых измерений других величин  $x_1, \dots, x_n$ , связанных с величиной  $y$  известной зависимостью

$$y = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \quad (3)$$

На практике для оценки погрешностей косвенных измерений эту зависимость линеаризуют и погрешность (абсолютная и относительная) величины  $y$  представляют в виде взвешенной суммы погрешностей  $\Delta x_i$  и  $\delta x_i$  по формулам

$$\Delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{df}{dx_i} \right)^2 \cdot \Delta_{x_i}^2} \quad (4)$$

$$\delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{df}{dx_i}\right)^2 \cdot \Delta_{xi}^2} \cdot y^2 \quad (5)$$

Таблица 5

| Форма выражения погрешности | Формулы для определения пределов допускаемых погрешностей | Обозначение класса точности на СИ | Примечание                                |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| Абсолютная                  | $\Delta X_{д} = \pm a$                                    | М                                 |                                           |
|                             | $\Delta X_{д} = \pm(a + bX)$                              | С                                 |                                           |
| Приведенная                 | $\gamma = \pm(\Delta X_{д}/X_N) \cdot 100 \% = \pm p$     | 1,5                               | Если выражено в единицах величин          |
|                             |                                                           | ∨ 0,5                             | Если определяется длиной шкалы (ее части) |
| Относительная               | $\delta = \pm(\Delta X_{д}/X) \cdot 100 \% = \pm q$       | 0,5                               |                                           |
|                             | $\delta = \pm[c + d( X_n/X  - 1)] \%$                     | 0,1/0,01                          |                                           |

Формулы для вычислений абсолютных и относительных погрешностей косвенных измерений часто встречающихся функций приведены в табл.6.

Таблица 6

| Функция       | Погрешность косвенных измерений                                      |                                                                                    |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|               | Абсолютная                                                           | Относительная                                                                      |
| $x + y + z$   | $\pm \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}$                    | $\pm \frac{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}}{x + y + z}$                |
| $x - y$       | $\pm \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$                                 | $\pm \frac{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}}{x - y}$                                 |
| $x \cdot y$   | $\pm \sqrt{y^2 \cdot \Delta_x^2 + x^2 \cdot \Delta_y^2}$             | $\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_y}{y}\right)^2}$ |
| $x^n$         | $\pm n \cdot x^{n-1} \cdot \Delta_x$                                 | $\pm n \cdot \frac{\Delta_x}{x}$                                                   |
| $\frac{x}{y}$ | $\pm \sqrt{\frac{x^2 \cdot \Delta_y^2 + y^2 \cdot \Delta_x^2}{y^4}}$ | $\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_y}{y}\right)^2}$ |
| $\sin x$      | $\pm \cos(x \cdot \Delta_x)$                                         | $\pm ctg(x \cdot \Delta_x)$                                                        |

**Задание 1.** Определить абсолютную и относительную поправку к показанию вольтметра, если на входе делителя  $R_1 - R_2$  действует напряжение  $E$  (рис.9).

Значение  $U_{\text{пок}}$ ,  $R_{\text{вх.в}}$ ,  $R_1 = R_2$  указаны в табл. 7. Нестабильностью резисторов  $R_1$  ( $R_2$ ) пренебречь.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл. 7 по последней цифре собственного шифра.

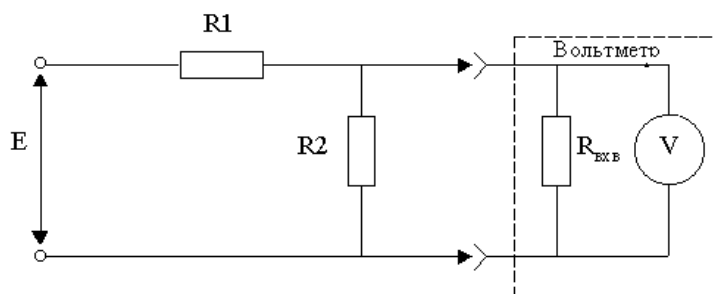


Рис.9. Схема измерения напряжения

Таблица 7

| Данные                        | Последняя цифра шифра |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|-------------------------------|-----------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                               | 0                     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $U_{\text{пок}}, \text{В}$    | 8                     |    |    | 20 |    |     | 30  |     |     |     |
| $R_1(R_2), \text{кОм}$        | 5                     | 8  | 10 | 20 | 40 | 50  | 60  | 100 | 150 | 140 |
| $R_{\text{вх.в}}, \text{кОм}$ | 20                    | 30 | 40 | 50 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |

**Указания**

Необходимо определить напряжение на выходе делителя  $R_1 - R_2$ , а затем показание вольтметра с учетом влияния входного сопротивления  $R_{\text{вх.в}}$ . Определить аналитическое выражение для абсолютной поправки к показанию вольтметра, а также аналитическое выражение для относительной поправки. Построить зависимость относительной поправки  $\beta_e = F(R_{\text{вх.в}}/R_H)$  от величины соотношения  $R_{\text{вх.в}}/R_H = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10$ . Сделать вывод о влиянии входного сопротивления вольтметра  $R_{\text{вх.в}}$  на показание вольтметра.

**Задание 2.** Напряжение на нагрузке  $R$  измеряется электромеханическим вольтметром. При измерении напряжения, температура окружающей среды достигла  $t$  °С, что превышает нормальную температуру, при которой градуируется вольтметр. Определить погрешность измерения напряжения в рабочих условиях, если на каждые 10 °С относительно нормальной температуры, точность вольтметра ухудшается на 50 %.

Значение  $U_{\text{пок}}$ ,  $U_{\text{пр}}$ ,  $t$  °С, класс точности (Кл.Т) вольтметра приведены в табл. 8. Шунтирующим действием вольтметра пренебречь.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл. 8 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 8

| Данные        | Последняя цифра шифра |    |     |    |     |         |     |     |     |    |
|---------------|-----------------------|----|-----|----|-----|---------|-----|-----|-----|----|
|               | 0                     | 1  | 2   | 3  | 4   | 5       | 6   | 7   | 8   | 9  |
| $U_{пок}$ , В | 2,5                   | 6  | 15  | 8  | 12  | 45      | 60  | 70  | 4   | 30 |
| $U_{пр}$ , В  | 5                     | 10 | 25  | 10 | 15  | 50      | 100 | 100 | 5   | 50 |
| $t$ , °С      | +40                   |    | +45 |    | -10 |         | -15 |     | +35 |    |
| Кл.Т          | 2,5                   |    | 4,0 |    |     | 2,5/0,5 |     | 1,5 |     |    |

**Задание 3.** Мощность, рассеиваемая на активной нагрузке  $R_n$  измеряется способом амперметра-вольтметра (рис. 10). Амперметр имеет внутренне сопротивление  $R_a$ , а вольтметр входное сопротивление  $R_{вх.в}$ . Определить мощность, рассеиваемую на активной нагрузке, а также по какой схеме целесообразно выполнять измерения мощности с точки зрения обеспечения наименьшей систематической погрешности, обусловленной влиянием приборов. Представить результат в установленной форме.

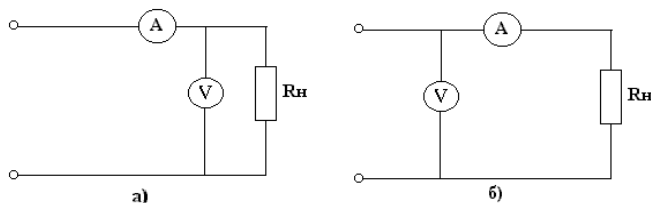


Рис. 10. Схема измерения мощности методом амперметра-вольтметра

Показание приборов, пределы измерения, классы точности, а также значение  $R_n$ ,  $R_a$ ,  $R_{вх.в}$ . приведены в табл. 9.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл. 9 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 9

| Данные           | Последняя цифра шифра |       |           |       |
|------------------|-----------------------|-------|-----------|-------|
|                  | Схема – а             |       | Схема – б |       |
|                  | 0 – 4                 | 5 – 9 | 0 – 4     | 5 – 9 |
| $U_{пок}$ , В    | 19,78                 | 18,16 | 20        | 20    |
| $U_{пр}$ , В     | 25                    | 25    | 25        | 25    |
| $I_{пок}$ , мА   | 2,18                  | 18,35 | 1,98      | 18,18 |
| $I_{пр}$ , мА    | 3                     | 20    | 2         | 20    |
| Кл.Т. вольтметра | 1,5                   |       |           |       |
| Кл.Т. амперметра | 1,0                   |       |           |       |
| $R_n$ , кОм      | 10                    | 1     | 10        | 1     |
| $R_a$ , Ом       | 100                   |       |           |       |
| $R_{вх.в}$ , кОм | 100                   |       |           |       |

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое класс точности СИ? В чем различие в обозначении классов точности СИ?
2. Как устанавливают нормирующее значение, если класс точности СИ выражен в форме приведенной погрешности?
3. В чем отличие систематической и случайной погрешности измерения?
4. Как оценивают погрешность косвенных измерений?

### Практическое занятие № 4. Обработка экспериментальных данных при многократном измерении

**Цель занятия** – научиться обрабатывать прямые многократные наблюдения.

*Основные теоретические положения*

Обработка результатов наблюдений [1, 12], если достоверно известно, что результаты наблюдений принадлежат нормальному закону, производится в следующей последовательности:

1. Исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений (единичных измерений), если они изменяются в процессе многократного измерения. В противном случае, если систематическая погрешность остается постоянной, то она исключается после вычисления среднего арифметического.

2. Вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений (при постоянной систематической погрешности в среднее арифметическое вводят поправку) и принимают за результат измерения

$$\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

3. Вычислить оценку СКО погрешности наблюдений (результатов единичных измерений)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

где  $x_i$  – результат  $i$ -го наблюдения (единичного наблюдения);

$\tilde{x}$  – среднее арифметическое значение измеряемой величины из  $n$  единичных результатов измерений (наблюдений).

4. Проверить в массиве наблюдений грубые погрешностей, используя правило «трех сигм»

$$|x_i - \tilde{x}| \leq 3 \cdot S_x \quad (8)$$

Наблюдения, содержащие грубые погрешности, исключают из массива и заново повторяют вычисления  $\tilde{x}$  и  $S_x$ . Операция обнаружения и исключения грубых погрешностей повторяется до тех пор, пока все грубые погрешности не будут обнаружены и исключены из массива наблюдений.

5. Вычислить СКО среднего арифметического

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (9)$$

6. Вычислить доверительные границы  $\varepsilon$  случайной погрешности измерения среднего арифметического значения (результата измерения)

$$\varepsilon = t_s S_{\bar{x}}, \quad (10)$$

где  $t_s$  коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и числа результатов наблюдений  $n$  находят по таблице коэффициентов Стьюдента (табл.10.)

Таблица 10

| $n$ | $P$ |      |      | $n$ | $P$ |      |      |
|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|
|     | 0,9 | 0,95 | 0,98 |     | 0,9 | 0,95 | 0,98 |
| 2   | 6,3 | 12,7 | 31,8 | 18  | 1,7 | 2,1  | 2,6  |
| 3   | 2,9 | 4,3  | 7,0  | 19  | 1,7 | 2,1  | 2,6  |
| 4   | 2,4 | 3,2  | 4,5  | 20  | 1,7 | 2,1  | 2,6  |
| 5   | 2,1 | 2,8  | 3,7  | 21  | 1,7 | 2,1  | 2,6  |
| 6   | 2,0 | 2,6  | 3,4  | 22  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 7   | 1,9 | 2,4  | 3,1  | 23  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 8   | 1,9 | 2,4  | 3,0  | 24  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 9   | 1,9 | 2,3  | 2,9  | 25  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 10  | 1,8 | 2,3  | 2,8  | 26  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 11  | 1,8 | 2,2  | 2,8  | 27  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 12  | 1,8 | 2,2  | 2,7  | 28  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 13  | 1,8 | 2,2  | 2,7  | 29  | 1,7 | 2,1  | 2,5  |
| 14  | 1,8 | 2,2  | 2,7  | 30  | 1,7 | 2,0  | 2,5  |
| 15  | 1,8 | 2,1  | 2,6  | 40  | 1,7 | 2,0  | 2,5  |
| 16  | 1,7 | 2,1  | 2,6  | 60  | 1,7 | 2,0  | 2,5  |
| 17  | 1,7 | 2,1  | 2,6  | 120 | 1,7 | 2,0  | 2,4  |

8. Вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Т.к. неисключенные систематические погрешности (НСП) отсутствуют, поэтому граница погрешности результата измерения  $\Delta = \varepsilon$ .

Форма записи результата измерения при симметричном доверительном интервале погрешности результата измерения имеет вид  $\bar{x} \pm \Delta, P$ .

**Задание 1.** При многократном измерении напряжение с помощью цифрового вольтметра получен массив данных, который составляет  $n$  независимых числовых значений результата измерения напряжения (милливольт) с равноточными значениями отсчета (поправки внесены).

Условия измерения нормальные. Считать, что результат измерений напряжения подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

Определить с какой точностью измеряется напряжение при многократном измерении, а также границы, в пределах которых находится значение измеряемого напряжения.

Значения  $P$  и  $n$  приведены в табл.11.

Свои исходные данные студент находит из табл.12, начиная с цифры, расположенной на пересечении столбца, соответствующего последней цифре собственного

шифра и строки, соответствующей предпоследней цифре шифра с переходом на следующий столбец. Объем массива должен составлять  $n$  значений (табл.11).

Таблица 11

| Данные | Последняя цифра шифра |   |   |      |   |   |      |   |   |   |
|--------|-----------------------|---|---|------|---|---|------|---|---|---|
|        | 0                     | 1 | 2 | 3    | 4 | 5 | 6    | 7 | 8 | 9 |
| $n$    | 21                    |   |   | 24   |   |   | 27   |   |   |   |
| $P$    | 0,9                   |   |   | 0,95 |   |   | 0,98 |   |   |   |

Таблица 12

| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 0                         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 0                     | 5,21                      | 5,22 | 5,23 | 5,24 | 5,25 | 5,26 | 5,27 | 5,28 | 5,29 | 5,75 |
| 1                     | 5,22                      | 5,21 | 5,21 | 5,23 | 5,29 | 5,28 | 5,24 | 5,25 | 5,26 | 5,27 |
| 2                     | 5,23                      | 5,21 | 5,24 | 5,24 | 5,28 | 5,28 | 5,29 | 5,21 | 5,22 | 5,23 |
| 3                     | 5,24                      | 5,24 | 5,27 | 5,29 | 5,27 | 5,24 | 5,25 | 5,26 | 5,27 | 5,28 |
| 4                     | 5,25                      | 5,23 | 5,23 | 5,28 | 5,24 | 5,29 | 5,21 | 5,22 | 5,23 | 5,24 |
| 5                     | 5,26                      | 5,29 | 5,29 | 5,26 | 5,22 | 5,25 | 5,26 | 5,27 | 5,28 | 5,29 |
| 6                     | 5,27                      | 5,28 | 5,26 | 5,29 | 5,20 | 5,21 | 5,22 | 5,23 | 5,24 | 5,25 |
| 7                     | 5,29                      | 5,27 | 5,28 | 5,21 | 5,21 | 5,26 | 5,26 | 5,28 | 5,29 | 5,21 |
| 8                     | 5,29                      | 5,26 | 5,29 | 5,26 | 5,28 | 5,22 | 5,23 | 5,24 | 5,25 | 5,26 |
| 9                     | 5,24                      | 5,27 | 5,21 | 5,24 | 5,29 | 5,27 | 5,28 | 5,29 | 5,21 | 5,22 |

#### Указания

Обработку экспериментальных данных следует осуществлять в следующей последовательности:

1. Массив экспериментальных данных свести во 2 –ой и 3-ий столбцы табл.13.
2. Произвести обработку экспериментальных данных, последовательно выполняя расчеты и заполняя 4, 5 и 6 столбцы:
  - рассчитать среднее арифметическое значение;
  - оценку среднеквадратического значения;
  - проверить массив экспериментальных данных на наличие ошибок, используя правило «трех сигм»;
  - оценить стандартное отклонение среднего арифметического;
  - по таблице значений коэффициентов Стьюдента, при заданном  $n$  и  $P$  определяют коэффициент  $t_s$ ;
  - рассчитать величину половины доверительного интервала;
  - определить границы, в пределах которых, находится значение измеряемого напряжения.



Таблица 13

| $j$ | $u_j$ | $m_j$ | $m_j \cdot u_j$              | $(u_j - \hat{u})$ | $(u_j - \hat{u})^2$ | $m_j(u_j - \hat{u})^2$                     |
|-----|-------|-------|------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------------|
| 1   | 2     | 3     | 4                            | 5                 | 6                   | 7                                          |
| 1   |       |       |                              |                   |                     |                                            |
| $j$ |       |       |                              |                   |                     |                                            |
| $k$ |       |       |                              |                   |                     |                                            |
|     |       |       | $\sum_{j=1}^k m_j \cdot u_j$ |                   |                     | $\sum_{j=1}^k m_j \cdot (u_j - \hat{u})^2$ |

**Задание 2.** Получено  $n$  независимых значений напряжения цифровым вольтметром. Считать, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности. Определить результат измерения напряжения, а также пределы, в которых находится значение измеряемого напряжения при доверительной вероятности  $P$ .

Среднее арифметическое значение результата измерений  $\tilde{U}$ , оценка среднеквадратического значения результатов измерения  $S_u$ , количество экспериментальных данных  $n$ , а также доверительная вероятность  $P$  приведены в табл.14.

Определить границы, в пределах которых находится значение измеряемого напряжения при многократном измерении.

Свои исходные данные студент выбирает из табл.14 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 14

| Данные           | Последняя цифра шифра |   |   |       |   |   |       |   |   |
|------------------|-----------------------|---|---|-------|---|---|-------|---|---|
|                  | 0                     | 1 | 2 | 3     | 4 | 5 | 6     | 7 | 8 |
| $n$              | 16                    |   |   | 25    |   |   | 9     |   |   |
| $P$              | 0,9                   |   |   | 0,95  |   |   | 0,97  |   |   |
| $\tilde{U}$ , мВ | 10,22                 |   |   | 99,85 |   |   | 50,25 |   |   |
| $S_u$ , мВ       | 0,283                 |   |   | 0,289 |   |   | 0,286 |   |   |

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В какой последовательности осуществляется обработка многократных измерений?
2. Какие законы распределения вероятности используются для описания результата измерения и погрешностей измерений?
3. Поясните, как зависит ширина половины доверительного интервала от доверительной вероятности?
4. Поясните порядок обнаружения грубых погрешностей (промахов) при многократном измерении?

### Практическое занятие № 5. Выбор средств измерений по точности при измерении и контроле параметров

**Цель занятия** – научиться выбирать средства измерений по точности для контроля и измерения параметров.

#### Основные теоретические положения

Выбор СИ по точности основан на рассмотрении двух различных случаев их использования:

- а) для измерения параметров технических устройств;
- б) для контроля параметров технических устройств.

Задача выбора СИ решается в следующей последовательности:

1. По известному верхнему пределу динамического диапазона измеряемого параметра  $X_{\text{в}}$  с учетом допустимого значения суммарной погрешности измерений  $\Delta_{\text{тр}}$  определяется конечное значение диапазона измерений (предел измерений СИ)

$$X_{\text{к}} \geq |X_{\text{в}}| + |\Delta_{\text{мп}}| \quad (11)$$

2. Оценивается ориентировочное значение требуемого класса точности

$$K_{\text{си тр}} \leq \frac{\Delta_{\text{мп}}}{X_{\text{к}}} \cdot 100 \% \quad (12)$$

Если вычисленное значение  $K_{\text{си тр}}$  не совпадает со значением, указанным в ГОСТ 8.401-80, его доводят до ближайшего соответствующего значения  $K_{\text{си тр}}$  в сторону более высокого класса точности.

3. По значениям  $K_{\text{си тр}}$  и  $X_{\text{к}}$  на основании анализа существующих методов измерений, характера измеряемого параметра, а также условий эксплуатации СИ предварительно выбирается конкретное СИ. Для выбранного СИ и соответствующей стандартной или аттестованной методики измерений определяется фактическое значение предела суммарной погрешности  $\Delta_{\text{ф}}$  по формуле (2).

4. Полученное значение  $\Delta_{\text{ф}}$  сравнивают с допустимым пределом  $\Delta_{\text{тр}}$ :

- если  $\Delta_{\text{тр}} \geq \Delta_{\text{ф}}$ , то СИ выбрано правильно;

- если  $\Delta_{\text{тр}} < \Delta_{\text{ф}}$ , то следует взять СИ более высокого класса точности и выполнить

операции п. 3.

Задача выбора СИ для контроля параметров решается в следующей последовательности:

1. Определение суммарной допустимой погрешности измерения параметра

$$\Delta_{\Sigma \text{ доп}} = \frac{\Delta_{\text{п}}}{K_{\text{мп}}}, \quad (13)$$

где  $\Delta_{\text{п}}$  – поле допуска на контролируемый параметр ( $\Delta_{\text{пв}} = \Delta_{\text{пн}} = \Delta_{\text{п}}$ ).

2. По известному значению верхней границы поля допуска  $X_{\text{дв}} = X_{\text{н}} + \Delta_{\text{пв}}$  и суммарной допустимой погрешности измерения параметра  $\Delta_{\Sigma \text{ доп}}$  определяется предел измерения СИ

$$X_{\text{нр}} \geq X_{\text{де}} + \Delta_{\Sigma \text{ доп}} \quad (14)$$

3. Оценивается ориентировочное значение требуемого класса точности

$$K_{\text{си тр}} \leq \frac{\Delta_{\Sigma \text{ доп}}}{X_{\text{нр}}} \cdot 100 \% \quad (15)$$

Если вычисленное значение  $K_{\text{си тр}}$  не совпадает со значением, указанным в ГОСТ 8.401-80, его доводят до ближайшего соответствующего значения  $K_{\text{си тр}}$  в сторону более высокого класса точности.

4. По значениям  $K_{\text{си тр}}$  и  $X_{\text{нр}}$  на основании анализа существующих методов измерений, характера контролируемого параметра, а также условий эксплуатации СИ предварительно выбирается конкретное СИ. Для выбранного СИ и соответствующей стан-

дартной или аттестованной методики измерений определяется фактическое значение предела суммарной погрешности  $\Delta_{\text{ф}}$  по формуле (2).

4. Полученное значение  $\Delta_{\text{ф}}$  сравнивают с допустимым пределом  $\Delta_{\text{тр}}$ :

- если  $\Delta_{\Sigma \text{ доп}} \geq \Delta_{\text{ф}}$ , то СИ выбрано правильно;

- если  $\Delta_{\Sigma \text{ доп}} < \Delta_{\text{ф}}$ , то следует взять СИ более высокого класса точности и выполнить операции п. 3.

**Задание 1.** Определить класс точности вольтметра постоянного тока, с помощью которого можно проконтролировать наличие параметра в пределах заданного допуска ( $U_{\text{н}} \pm \Delta_{\text{н}}$ ) В с точностью  $K_{\text{т}}$ . Условия измерения нормальные.

Предел измерения вольтметра выбирают из ряда:

1; 2,5; 5; 10; 25; 100; 250; 500; 1000 В.

Класс точности вольтметра выбирают из ряда:

(1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0) · 10<sup>n</sup>, где n = -1; 0; 1.

Значения  $K_{\text{т.тр}}$ . (требуемый коэффициент точности),  $U_{\text{н}}$  – номинальное значение параметра,  $\Delta_{\text{н}}$  – допуск (симметричный) на параметр студент выбирает из табл.15 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 15

| Данные                                     | Последняя цифра шифра |     |       |     |      |     |     |      |     |     |
|--------------------------------------------|-----------------------|-----|-------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
|                                            | 0                     | 1   | 2     | 3   | 4    | 5   | 6   | 7    | 8   | 9   |
| $(U_{\text{н}} \pm \Delta_{\text{н}})$ , В | 220±22                |     | 5±0,1 |     | 50±1 |     |     | 30±2 |     |     |
| $K_{\text{т.тр}}$                          | 2,5                   | 3,0 | 3,5   | 4,0 | 5,0  | 2,5 | 3,0 | 3,5  | 4,0 | 5,0 |

#### Указание

Для выбора класса точности вольтметра, используемого для определения факта наличия контролируемого параметра в пределах допуска, необходимо знать требуемый коэффициент точности  $K_{\text{т.тр}}$ , определяющий соотношение между полем допуска  $\Delta_{\text{н}}$  и погрешностью измерения и характеризующего достоверность измерительного контроля. Так как погрешностью метода измерения пренебрегаем, то в качестве погрешности измерения принимают погрешность вольтметра. В этом случае допустимое значение погрешности измерения должно быть в  $K_{\text{т.тр}}$  раз меньше поля допуска.

**Задание 2.** Определить фактический коэффициент точности  $K_{\text{тф}}$  при контроле параметра в пределах заданного допуска, если  $U_{\text{н}} = 220$  В,  $\Delta_{\text{н}} = \pm 22$  В, частотный диапазон контролируемого параметра 50 Гц. Условия измерения: температура окружающей среды  $t_{\text{р}} = +40$  °С; относительная влажность 70 %. Измерительный прибор – вольтметр переменного тока, класса точности 4,0, пределом измерения 250 В. Известно, что на каждые 10 °С относительно нормальной температуры, точность показаний вольтметра ухудшается на 50 %.

**Задание 3.** На предприятии имеются средства измерений геометрических размеров: 1 – штангенциркуль (погрешность измерения – 0,05 мм); 2 – микрометр (погрешность измерения – 0,005 мм); оптиметр (погрешность измерения – 0,001 мм). Для контроля диаметра детали (30±0,012) мм какой из трех средств измерений целесообразно использовать?

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите исходные данные при выборе СИ для контроля и измерения параметров?
2. Как оценивают дополнительную погрешность СИ?
3. Что относят к условиям измерений?

### Практическое занятие № 6. Измерение параметров электрических сигналов

**Цель занятия** – научиться измерять параметры электрических сигналов и оценивать погрешности измерений.

#### Основные теоретические положения

**Электронный осциллограф (ЭО)** – многофункциональный прибор, он используется для визуального наблюдения электрических сигналов и измерения их параметров с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Он отличается высокой чувствительностью, большим входным сопротивлением, пренебрежимо малой инерционностью [4, 5, 10].

Воспроизведение изображения исследуемого сигнала на экране ЭЛТ основано на том, что сфокусированный электронный луч, проходя между вертикально отклоняющими пластинами  $Y$ , отклоняется по вертикальной оси пропорционально исследуемому напряжению, а горизонтально отклоняющие пластины отклоняют луч по горизонтальной оси с постоянной скоростью. С этой целью в осциллографе применяют линейную развертку, в качестве которой используют напряжение пилообразной формы (рис. 11).

В осциллографах при измерении амплитуды сигнала и его временных параметров применяют метод непосредственного отсчета по шкале на экране прибора. При этом методе перед измерением калибруют шкалу осциллографа по чувствительности и длительности развертки с помощью сигналов встроенного калибратора, а затем отсчитывают амплитуду и временные параметры исследуемого сигнала.

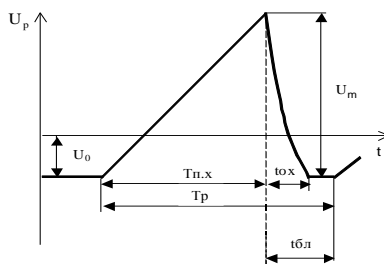


Рис. 11. Напряжение пилообразной формы

Указанные измерения производятся по масштабной сетке, которая нанесена на прозрачную пластину, наложенную на экран ЭЛТ. Расстояния между крайними горизонталями делятся линиями на деления и рисками на десятые доли деления так, например, в большинстве универсальных осциллографах шкала разделена на 8 делений по вертикали и 10 – по горизонтали и рисками – 0,2 деления.

Амплитуда синусоидального сигнала (рис.12, а) определяется как произведению измеренного значения изображения в делениях шкалы  $h_m$  на цифровую отметку коэффициента вертикального отклонения  $K_{отк}$ , установленного переключателем В/ДЕЛ, а период сигнала – произведению измеренного значения изображения в делениях шкалы

$L_T$  на цифровую отметку коэффициента развертки  $K_p$ , установленного переключателем ВРЕМЯ/ДЕЛ (рис.12, а) и определяются по формулам

$$U_m = K_{омк} \cdot h_m, \quad (16)$$

$$T_c = K_p \cdot L_T, \quad (17)$$

Частота сигнала определяется по формуле

$$F_c = \frac{1}{K_p \cdot T_c} = \frac{1}{T_c} \quad (18)$$

Коэффициент амплитудной модуляции (рис.15, б) определяется по формуле

$$m = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100 \% \quad (19)$$

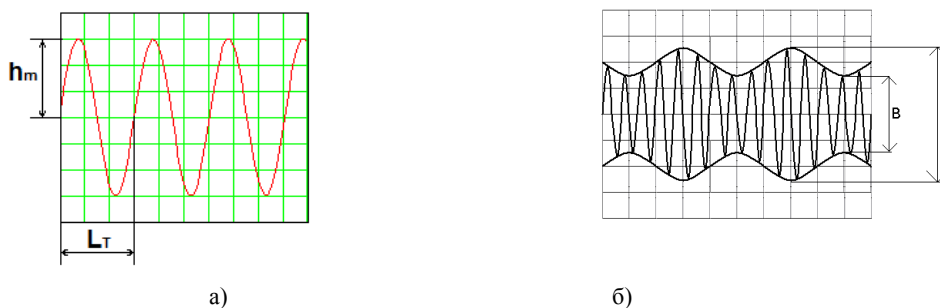
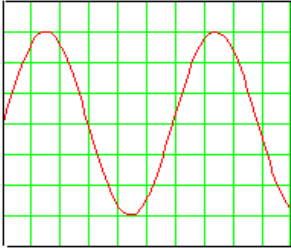
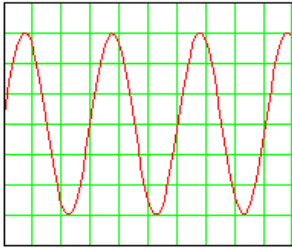
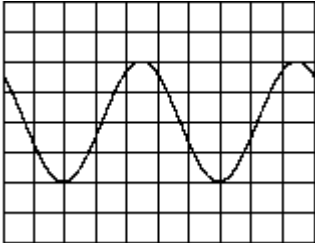
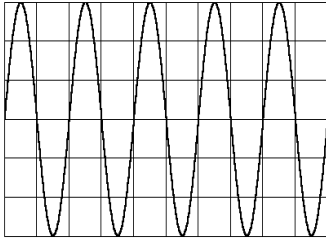


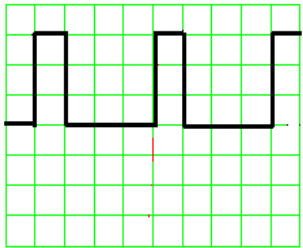
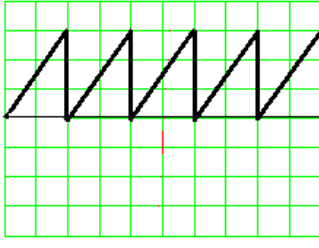
Рис.12. Измерение амплитудно-временных параметров и параметров амплитудой модуляции (а – синусоидальный сигнал, б – амплитудно-модулированный сигнал)

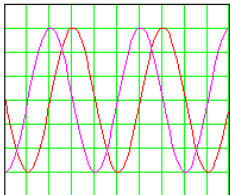
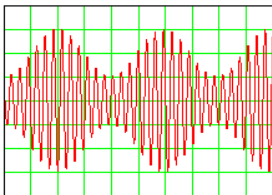
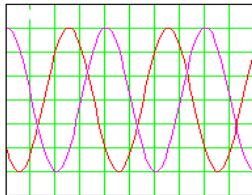
**Задание 1.** На экране осциллографа приведены осциллограммы сигналов (табл.16). В зависимости от варианта задания определить амплитуду, период повторения и частоту сигнала. Кроме того, необходимо определить погрешность и пределы, в которых находятся значения указанных параметров. Вид осциллограммы, требуемое значение коэффициента вертикального отклонения и коэффициента развертки приведены в табл.16, которые студент выбирает по последней цифре собственного шифра. Для определения коэффициента амплитудной модуляции и фазового сдвига сигналов, осциллограммы приведены в табл.17, которые студент выбирает по предпоследней цифре собственного шифра.

Таблица 16

| Данные               | Последняя цифра шифра                                                              |     |     |    |     |                                                                                     |     |     |    |     |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|----|-----|
|                      | 1 – 5                                                                              |     |     |    |     | 6 – 0                                                                               |     |     |    |     |
|                      |   |     |     |    |     |   |     |     |    |     |
| $K_{отк}$<br>(В/дел) | 10                                                                                 | 5   | 2   | 1  | 0,5 | 0,2                                                                                 | 0,1 | 0,5 | 2  | 5   |
| $K_p$<br>(мкс/дел)   | 0,1                                                                                | 0,2 | 0,5 | 1  | 2   | 5                                                                                   | 10  | 20  | 50 | 0,1 |
| $\delta_T, \%$       | 3                                                                                  | 4   | 5   | 6  | 2   | 5                                                                                   | 3   | 4   | 5  | 6   |
| $\delta_U, \%$       | 3                                                                                  | 2   | 6   | 4  | 5   | 4                                                                                   | 3   | 2   | 6  | 4   |
| $K_{отк}$<br>(В/дел) | 1                                                                                  | 2   | 5   | 10 | 0,5 | 0,1                                                                                 | 0,2 | 0,5 | 5  | 2   |
| $K_p$<br>(мс/дел)    | 0,1                                                                                | 0,2 | 0,5 | 1  | 2   | 5                                                                                   | 10  | 20  | 50 | 0,1 |
|                      |  |     |     |    |     |  |     |     |    |     |

Продолжение таблицы 16

| Данные               | Последняя цифра шифра                                                               |     |     |   |     |                                                                                      |     |     |    |     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|---|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|----|-----|
|                      | 1 – 5                                                                               |     |     |   |     | 6 – 0                                                                                |     |     |    |     |
|                      |  |     |     |   |     |  |     |     |    |     |
| $K_{отк}$<br>(В/дел) | 10                                                                                  | 5   | 2   | 1 | 0,5 | 0,2                                                                                  | 0,1 | 0,5 | 2  | 5   |
| $K_p$<br>(мс/дел)    | 0,1                                                                                 | 0,2 | 0,5 | 1 | 2   | 5                                                                                    | 10  | 20  | 50 | 0,1 |
| $\delta_T, \%$       | 3                                                                                   | 4   | 5   | 6 | 2   | 5                                                                                    | 3   | 4   | 5  | 6   |
| $\delta_U, \%$       | 3                                                                                   | 2   | 6   | 4 | 5   | 4                                                                                    | 3   | 2   | 6  | 4   |

| Предпоследняя цифра шифра                                                         |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – 3                                                                             | 4 – 7                                                                             | 8 – 0                                                                               |
|  |  |  |

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните принцип получения развертки и осциллограммы в ЭЛО?
2. Перечислите основные параметры сигналов?
3. Поясните, как измеряется коэффициент амплитудной модуляции и частотно-временные параметры сигналов ЭЛО?

### Практическое занятие № 7. Расчет рядов взаимосвязанных параметров

**Цель занятия** – научиться строить ряды взаимосвязанных параметров.

#### Основные теоретические положения

Предпочтительным числам свойственны определенные математические закономерности. С древнейших времен для построения рядов предпочтительных чисел использовалась геометрическая прогрессия, т.е. такая последовательность чисел, в которой отношение последующего к предыдущему члену остается постоянной [1, 11].

Любой ее член можно вычислить по формуле

$$a_n = a_1 \cdot q^{n-1}, \quad (20)$$

где  $a_1$  – первый член;  $q$  – знаменатель прогрессии;  $n$  – номер взятого члена.

Ряды предпочтительных чисел должны удовлетворять следующим требованиям:

- представлять рациональную систему градаций, отвечающую потребностям производства и эксплуатации;
- быть бесконечными как в сторону малых, так и в сторону больших значений, т.е. допускать неограниченное развитие параметров или размеров в направлении их увеличения или уменьшения;
- включать в себя все десятикратные значения любого члена в единицу;
- быть простыми и легко запоминающимися.

Специальные исследования показали, что всем этим требованиям наилучшим образом удовлетворяют геометрические прогрессии с десятикратным увеличением каждого  $n$ -го члена и знаменателем равным

$$q = \sqrt[R]{10}, \quad (21)$$

где  $R=5, 10, 20, 40, 80, 160$ .

Ряды  $R5, R10, R20, R40$  называются основными (табл.18), а ряды  $R80$  и  $R160$  – дополнительными.

На примере табл.18 рассмотрим некоторые свойства основных рядов предпочтительных чисел [1, 6, 7, 9, 11].

1. Стандартные значения предпочтительных чисел лежат в диапазоне  $0 < a < \infty$  на основе фиксированных значений предпочтительных чисел, включенных в десятичный интервал  $1 < a < \infty$ . Все эти числа, включенные в ряд  $R40$ , приведены в табл.25.

2. Номер ряда предпочтительных чисел  $R5$ ,  $R10$ ,  $R20$  и  $R40$  указывает на количество чисел в десятичном интервале.

3. Все предпочтительные числа ряда  $R40$  (табл. 18) имеют номера от 0 до 40, использование которых позволяет стандартизаторам упростить расчеты взаимосвязанных показателей стандартов, ускорить процесс вычислений.

При переходе от табл. 25 в другие десятичные интервалы, т.е. при умножении чисел на  $10^k$ , номера чисел последовательно нарастают при  $+k$  (от 41 и выше), а при  $-k$  по мере удаления от предпочтительного числа 1 номера чисел растут по абсолютному значению, но имеют отрицательные знаки (0,  $-1$ ,  $-2$ ,  $-3$  и т.д.).

Если учесть, что при умножении предпочтительного числа (табл.25) на  $10^k$  в новом числе запятая оказывается перенесенной на  $k$  знаков (вправо – при  $+k$ , и влево – при  $-k$ ), то номер нового числа можно определить по формуле

$$N = N_T \pm k \cdot 40, \quad (34)$$

где  $N_T$  – номер числа, представленного в табл.25.

#### *Ряды с ограниченными пределами*

$R40(15...190)$  – основной ряд  $R40$ , ограниченный членом 15 в качестве нижнего предела и членом 190 в качестве верхнего предела.

#### *Производные ряды*

$R20/3(14...40)$  – производный ряд, полученный путем отбора каждого третьего члена основного ряда  $R20$  и ограниченный членом 14 в качестве нижнего предела и членом 40 в качестве верхнего предела.



Таблица 18

| Основные ряды |       |       |       | Номер предпо-<br>читительного<br>числа | Мантиссы<br>логариф-<br>мов | Расчетные<br>величины<br>чисел | Разность меж-<br>ду числами<br>основного ряда<br>и расчетными<br>величинами, % |
|---------------|-------|-------|-------|----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| R5            | R10   | R20   | R40   |                                        |                             |                                |                                                                                |
| 1,00          | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 0                                      | 000                         | 1,0000                         | 0                                                                              |
|               |       |       | 1,06  | 1                                      | 023                         | 1,0593                         | +0,07                                                                          |
|               |       | 1,12  | 1,12  | 2                                      | 050                         | 1,1220                         | -0,18                                                                          |
|               |       |       | 1,18  | 3                                      | 075                         | 1,1885                         | -0,71                                                                          |
|               | 1,25  | 1,25  | 1,25  | 4                                      | 100                         | 1,2589                         | -0,71                                                                          |
|               |       |       | 1,32  | 5                                      | 125                         | 1,3335                         | -1,01                                                                          |
|               |       | 1,40  | 1,40  | 6                                      | 150                         | 1,4125                         | -0,88                                                                          |
|               |       |       | 1,50  | 7                                      | 175                         | 1,4962                         | +0,25                                                                          |
| 1,60          | 1,60  | 1,60  | 1,60  | 8                                      | 200                         | 1,5849                         | +0,95                                                                          |
|               |       |       | 1,70  | 9                                      | 225                         | 1,6788                         | +1,26                                                                          |
|               |       | 1,80  | 1,80  | 10                                     | 250                         | 1,7783                         | +1,22                                                                          |
|               |       |       | 1,90  | 11                                     | 275                         | 1,8836                         | -0,87                                                                          |
|               | 2,00  | 2,00  | 2,00  | 12                                     | 300                         | 1,9953                         | +0,24                                                                          |
|               |       |       | 2,12  | 13                                     | 325                         | 2,1135                         | +0,31                                                                          |
|               |       | 2,24  | 2,24  | 14                                     | 350                         | 2,2387                         | +0,06                                                                          |
|               |       |       | 2,36  | 15                                     | 375                         | 2,3714                         | -0,48                                                                          |
| 2,50          | 2,50  | 2,50  | 2,50  | 16                                     | 400                         | 2,5119                         | -0,47                                                                          |
|               |       |       | 2,65  | 17                                     | 425                         | 2,6607                         | -0,40                                                                          |
|               |       | 2,80  | 2,80  | 18                                     | 450                         | 2,8184                         | -0,65                                                                          |
|               |       |       | 3,00  | 19                                     | 475                         | 2,9854                         | +0,49                                                                          |
|               | 3,15  | 3,15  | 3,15  | 20                                     | 500                         | 3,1623                         | -0,39                                                                          |
|               |       |       | 3,35  | 21                                     | 525                         | 3,3497                         | +0,01                                                                          |
|               |       | 3,55  | 3,55  | 22                                     | 550                         | 3,5481                         | +0,05                                                                          |
|               |       |       | 3,75  | 23                                     | 575                         | 3,7584                         | -0,22                                                                          |
| 4,00          | 4,00  | 4,00  | 4,00  | 24                                     | 600                         | 3,9811                         | +0,47                                                                          |
|               |       |       | 4,25  | 25                                     | 625                         | 4,2170                         | +0,78                                                                          |
|               |       | 4,50  | 4,50  | 26                                     | 650                         | 4,4668                         | +0,74                                                                          |
|               |       |       | 4,75  | 27                                     | 675                         | 4,7315                         | +0,39                                                                          |
|               | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 28                                     | 700                         | 5,0119                         | -0,24                                                                          |
|               |       |       | 5,30  | 29                                     | 725                         | 5,3088                         | -0,17                                                                          |
|               |       | 5,60  | 5,60  | 30                                     | 750                         | 5,6234                         | -0,42                                                                          |
|               |       |       | 6,00  | 31                                     | 775                         | 5,9566                         | +0,73                                                                          |
| 6,30          | 6,30  | 6,30  | 6,30  | 32                                     | 800                         | 6,3096                         | -0,15                                                                          |
|               |       |       | 6,70  | 33                                     | 825                         | 6,6834                         | +0,25                                                                          |
|               |       | 7,10  | 7,10  | 34                                     | 850                         | 7,0795                         | +0,29                                                                          |
|               |       |       | 7,50  | 35                                     | 875                         | 7,4989                         | +0,01                                                                          |
|               | 8,00  | 8,00  | 8,00  | 36                                     | 900                         | 7,9433                         | +0,71                                                                          |
|               |       |       | 8,50  | 37                                     | 925                         | 8,4140                         | +1,02                                                                          |
|               |       | 9,00  | 9,00  | 38                                     | 950                         | 9,9125                         | +0,98                                                                          |
|               |       |       | 9,50  | 39                                     | 975                         | 9,4406                         | +0,63                                                                          |
| 10,00         | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 40                                     | 000                         | 10,000                         | 0                                                                              |

**Задание 1.** Выбрать ряды взаимосвязанных параметров А и В и определить порядковые номера членов этих рядов на основе следующих данных:

а) зависимость, определяющая связь параметров, имеет вид

$$A=c \cdot B^n,$$

где  $c$  – постоянный коэффициент, а  $n$  – показатель степени, которые определяются по последней цифре шифра студента из табл.26.

б) параметр А задан рядом, определяемым из табл.19 по предпоследней цифре шифра студента.

Результаты расчетов внести в соответствующие графы табл. 20.

Таблица 19

| Параметры                 | Вариант         |                |               |                   |
|---------------------------|-----------------|----------------|---------------|-------------------|
|                           | 1-3             | 4-6            | 7-8           | 9-0               |
| Последняя цифра шифра     |                 |                |               |                   |
| C                         | 1               | 0,25           | 2             | 1                 |
| n                         | 1/2             | 2              | 1/2           | 2                 |
| Предпоследняя цифра шифра |                 |                |               |                   |
| A                         | R10/2(1,6...25) | R40/3(2,8...8) | R5/2(1...250) | R20/3(1,4...11,2) |

Таблица 20

| Обозначение параметров | Обозначение ряда | Знаменатель ряда | Номера параметров членов ряда |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|
|                        |                  |                  | 1                             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| А                      |                  |                  | Порядковые номера членов ряда |   |   |   |   |   |   |
|                        |                  |                  |                               |   |   |   |   |   |   |
| В                      |                  |                  | Порядковые номера членов ряда |   |   |   |   |   |   |
|                        |                  |                  |                               |   |   |   |   |   |   |

**Указания**

1. На основе системы предпочтительных чисел находим ряд параметров А и определяем его знаменатель  $q_A$ .

2. Находим приближенное значение параметра  $B_1$ , соответствующее первому члену  $A_1$  ряда А.

3. Определяем знаменатель  $q_B$  ряда В, исходя из соотношения

$$q_A = (q_B)^n.$$

4. Определяем ряд параметра В, его обозначение и порядковые номера членов ряда  $N=N_T+k \cdot 40$ .

Результаты вносим в соответствующие графы табл.20.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните, как образуются и обозначаются производные ряды?
2. Поясните, как обозначаются ряды с ограниченными пределами?
3. Определите порядковые номера и знаменатель ряда  $R_{10/2}(1,6\dots 25)$ ?
4. Перечислите основные свойства основных рядов предпочтительных чисел?

### Практическое занятие № 10. Порядок заполнения бланка сертификата соответствия

**Цель занятия** – научиться определять регистрационный номер сертификата соответствия на продукцию, прошедшую сертификацию.

#### *Основные теоретические положения*

Форма сертификата соответствия приведена на рис. 13. Правила заполнения бланка сертификата соответствия на продукцию состоит в следующей последовательности.

**Позиция 1** – регистрационный номер сертификата соответствия на продукцию составляется следующим образом. Структура регистрационного номера:

|      |    |      |   |        |
|------|----|------|---|--------|
| РОСС | XX | XXXX | X | XXXXXX |
| 1    | 2  | 3    | 4 | 5      |

- 1 – знак регистрации в Государственном реестре Госстандарта России, где РОСС – [Российская Система Сертификации];
- 2 – код страны расположения организации-изготовителя данной продукции. В виде двух прописных букв латинского алфавита – кода страны по международному классификатору «Страны мира», к примеру, Россия – RU, Индия – IM, Италия – IT.
- 3 – код органа по сертификации, выдавшего сертификат (используются четыре последних знака регистрационного номера органа).

Код представлен двумя прописными буквами русского алфавита и двухзначным числом. Расшифровка наиболее часто встречающихся буквенных индексов: АТ – авиационная техника; АЮ, АЛ – расширенная область аккредитации; ББ – пожарная безопасность; БП – посуда; ЖТ – железнодорожный транспорт; ИМ – инструмент медицинский; ИС – системы качества и производства; ЛД – товары детского ассортимента; ЛК – коженно-обувные изделия; ЛТ – текстильная продукция; МД – игрушки; МЖ – ручное оружие и патроны; ММ – станки металлообрабатывающие; МС – сельскохозяйственная техника; МЭ – электромагнитная совместимость; ПВ – вода; ПК – парфюмерно-косметические товары; 11Л, ПМ, ПН, ПО, ПП, ПР, ПТ, ПУ, ПФ, ПХ – пищевые продукты и продовольственное сырье; СП – программные средства; СС – спортивные и туристские изделия; СЩ – средства индивидуальной защиты; ТБ – тара; УБ, УВ – услуги по ремонту и техническому обслуживанию бытовой радиоэлектронной аппаратуры, электробытовых машин и приборов; УП – услуги общественного питания; УХ – услуги химической чистки; ЦЦ – взрывоопасные материалы и изделия из них; ЧС, ЭФ – черные металлы и сплавы; ЭУ – электроустановки зданий.

4 – код типа объекта сертификации:

**А** – партия (единичное изделие), сертифицированная на соответствие обязательным требованиям;

**В** – серийно выпускаемая продукция, сертифицированная на соответствие обязательным требованиям;

**С** – партия (единичное изделие), сертифицированная на соответствие требованиям нормативных документов;

**Н** – серийно выпускаемая продукция, сертифицированная на соответствие требованиям нормативных документов;

**Е** – транспортное средство, на которое выдается одобрение типа транспортного средства.

**5** – номер объекта регистрации в виде порядкового номера (от 00001 до 99999) по каждому типу объекта регистрации.

Пример:

РОСС 1Т.АЯ46.А53146

- РОСС – Российская система сертификации;

- 1Т – предприятие-изготовитель данного товара находится в Италии;

- АЯ46 – сертификат выдан органом по сертификации промышленной продукции Российского центра испытаний и сертификации Ростест-Москва;

- А – сертификат оформлен на партию (образец), сертифицированную на соответствие обязательным требованиям нормативной документации;

- 53146 – запись внесена в регистрационный журнал под № 53146.

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р  
ГОССТАНДАРТ РОССИИ

**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**

(1) №  
(2) Срок действия с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

6652606

(3) Орган по сертификации \_\_\_\_\_

(4) Продукция \_\_\_\_\_

(5) код по ОКП \_\_\_\_\_

(6) Соответствие требованиям нормативных документов \_\_\_\_\_

(7) код ТН ВЭД России \_\_\_\_\_

(8) Изготовитель \_\_\_\_\_

(9) Сертификат выдан \_\_\_\_\_

(10) На основании \_\_\_\_\_

(11) Дополнительная информация  
Схема сертификации \_\_\_\_\_

(12) Руководитель органа  
Эксперт \_\_\_\_\_

Сертификат имеет юридическую силу на всей территории РФ

Рис. 13. Лицевая сторона бланка сертификата соответствия в Системе ГОСТ Р

**Позиция 2** – срок действия сертификата устанавливается в соответствии с правилами и порядками сертификации однородной продукции. Даты записываются следующим образом: число и месяц – двумя арабскими цифрами, разделенными точками, год – четырьмя арабскими цифрами. При этом первую дату проставляют по дате регистрации сертификата в Государственном реестре. При сертификации партий или единичного изделия вторая дата не проставляется.

**Позиция 3.** Здесь приводятся регистрационный номер органа по сертификации – по Государственному реестру, его наименование – в соответствии с аттестатом аккредитации (прописными буквами), адрес (строчными буквами), телефон и факс.

**Позиция 4.** Здесь указываются наименование, тип, вид, марка продукции, обозначение стандарта, технических условий или иного документа, по которому она выпускается (для импортной продукции ссылка на документ необязательна). Далее указывают: «серийный выпуск», или «партия», или «единичное изделие». Для партии и единичного изделия приводят номер и размер партии или номер изделия, номер и дату выдачи накладной, договора (контракта), документа о качестве и т. п. Здесь же дается ссылка на имеющееся приложение записью.

**Позиция 5** – код продукции (6 разрядов с пробелом после первых двух) по Общероссийскому классификатору продукции (ОКП).

**Позиция 6** – обозначение технического регламента и других нормативных документов, на соответствие которым проведена сертификация. Если продукция сертифицирована не на все требования нормативного(ых) документа(ов), то указывают разделы или пункты, содержащие подтверждаемые требования.

**Позиция 7** – 9-разрядный код продукции по классификатору товарной номенклатуры внешней экономической деятельности (заполняется обязательно для импортируемой и экспортируемой продукции).

**Позиция 8** – наименование, адрес организации-изготовителя (индивидуального предпринимателя).

**Позиция 9** – наименование; адрес; телефон; факс юридического лица, которому выдан сертификат соответствия.

**Позиция 10** – документы, на основании которых органом по сертификации выдан сертификат, например:

- протокол испытаний с указанием номера и даты выдачи, наименования и регистрационного номера аккредитованной лаборатории в Государственном реестре;

- документы (гигиеническое заключение, ветеринарное свидетельство, сертификат пожарной безопасности и др.), выданные органами и службами федеральных органов исполнительной власти, с указанием наименования органа или службы, адреса, наименования вида документа, номера, даты выдачи и срока действия;

- документы других органов по сертификации и испытательных Лабораторий с указанием наименования, адреса, наименования вида документа, номера, даты выдачи и срока действия;

- декларация о соответствии с указанием номера и даты ее принятия.

**Позиция 11** – дополнительную информацию приводят при необходимости, определяемой органом по сертификации. К такой информации могут относиться внешние идентифицирующие признаки продукции (вид тары, упаковки, нанесенные на них

сведения и т. п.), условия действия сертификата (при хранении, реализации), место нанесения знака соответствия, номер схемы сертификации и т. п.

**Позиция 12** – подпись, инициалы, фамилия руководителя органа, выдавшего сертификат, и эксперта, проводившего сертификацию; печать органа по сертификации.

Приложение к сертификату оформляют в соответствии с правилами заполнения аналогичных реквизитов в сертификате.

Сертификат и приложение к нему выполняют машинописным способом. Исправления, подчистки и поправки не допускаются. Правила заполнения бланка сертификата соответствия на услугу применяются аналогичные. Различие в 2-х пунктах. В позиции 1 4-й элемент – код типа объекта сертификации имеет обозначения У – услуга (работа), сертифицированная на соответствие обязательным требованиям; М – услуга (работа), сертифицированная на соответствие требованиям нормативных документов);

**Задание 1.** Заполнить позиции Сертификата соответствия и составить регистрационный номер сертификата соответствия на продукцию, используя данные табл. 23

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.21 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 21

| Номер и содержание позиции         |                                  |                            |                                                   |                                  |                        |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| №1                                 | №2                               | №3                         | №4                                                | *                                | №5                     |
| Регистрационный номер и номер сер- | Срок действия (годы, реализация) | Код органа по сертификации | Продукция                                         | Формы подтверждения соответствия | По-следняя цифра шифра |
| 0 – 1                              | 5                                | РОСС<br>RU.0001.1<br>1МУ03 | Установка для освоение скважин, партия            | Обязательная сертификация        |                        |
| 2 – 3                              | Реализация                       | РОСС<br>RU.0001.1<br>1АЮ64 | Картонные заготовки для спичек коробковое, партия | Добровольная сертификация        |                        |
| 4 – 5                              | 5                                | РОСС<br>RU.0001.1<br>0АЯ27 | Молоко «Лианозовское», серия                      | Обязательная сертификация        |                        |
| 6 – 7                              | 3                                | РОСС<br>RU.9001.1<br>1СЛ08 | Теплоизоляционные плиты, серия                    | Добровольная сертификация        |                        |
| 8 – 9                              | Реализация                       | РОСС<br>RU.0001.1<br>1МЕ83 | Полотно автотомобильное ворсовое, серия           | Обязательная сертификация        |                        |

| Последняя цифра шифра | Номер и содержание позиции                |                                      |                                      |                      |                            |               | №5 |
|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------|----|
|                       | №10                                       | №9                                   | №8                                   | №7                   | №6                         | №5            |    |
|                       | Основание выдачи сертификата соответствия | Сертификат выдан                     | Изготовитель, продавец               | Код продукции ТН ВЭД | Соответствие ТР и НТД      | Код продукции |    |
| 0 – 1                 | Протоколов испытаний                      | ОАО Машиностроительный завод         | ОАО Машиностроительный завод         | 870520000            | ТР на добычу нефти         | 366612        |    |
| 2 – 3                 | Протоколов испытаний                      | ОАО «Солнце»                         | Фирма «KUDUS»                        | 4819201000           | ГОСТ 12301-81              | 548123        |    |
| 4 – 5                 | Протоколов испытаний                      | ОАО «Лиянозавский молочный комбинат» | ОАО «Лиянозавский молочный комбинат» |                      | ТР на молочнопродукцию     | 922217        |    |
| 6 – 7                 | Протоколов испытаний                      | ОАО «ФЛАЙ-ДЕРЕВ»                     | ОАО «ФЛАЙ-ДЕРЕВ»                     | 7019199000           | ТУ 5763-002-00287697       | 576312        |    |
| 8 – 9                 | Протоколов испытаний                      | ЗАО Московский шелковый комбинат АОК | ЗАО Московский шелковый комбинат АОК | 600192500            | ТР на производство билетов | 837651        |    |

| Последняя цифра шифра | Номер и содержание позиции                                           |                                                | 3а |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----|
|                       | №12                                                                  | №11                                            |    |
|                       | Подпись, Ф.И.О. руководителя и эксперта органа, выдавшего сертификат | Дополнительная информация (схема сертификации) |    |
| 0 – 1                 | Руководитель, эксперт                                                | 3а                                             |    |
| 2 – 3                 | Руководитель, эксперт                                                | 4                                              |    |
| 4 – 5                 | Руководитель, эксперт                                                | 5                                              |    |
| 6 – 7                 | Руководитель, эксперт                                                | 4                                              |    |
| 8 – 9                 | Руководитель, эксперт                                                | 3а                                             |    |

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите цели и принципы подтверждения соответствия?
2. Поясните правила заполнения сертификата соответствия?
3. Перечислите основные этапы проведения сертификации?
4. Кто оформляет декларацию о соответствии?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях приводятся 8 практических занятий, которые построены по алгоритму: тема и цель занятия; основные теоретические положения, включая справочный материал; 2 – 3 практических задания и указания к их выполнению; контрольные вопросы, необходимые для самопроверки студентов при подготовке к занятию.

Для понимания основных вопросов, связанных с вероятностной оценкой погрешностей измерений, студентам необходимо знать основные положения теории вероятности и математической статистики и уметь принять их на практике.

Методические указания позволят студентам определить роль и место курса «Метрология, стандартизация и технические измерения» в общей системе подготовки бакалавриата 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника, а также Российской промышленности



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексеев Г.А.* Метрология, стандартизация и сертификация: учебно-методический комплекс/Г.А. Алексеев, О.В. Новикова, Э.И. Медякова, В.М. Станякин, И.Ф. Шишкин. – СПб.:Изд-во СЗТУ, 2009. – 227 с.
2. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 25 с.
3. ГОСТ 8.417-2003. ГСИ. Единицы величин. – М.: Изд-во стандартов, 2003.
4. *Куликовский К.Л.* Методы и средства измерений: учебное пособие для вузов/К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
5. *Кукуш В.Д.* Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов /В.Д. Кукуш – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
6. *Лифиц И.М.* Стандартизация, метрология и сертификация: учеб. для вузов/ И.М. Лифиц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2004. – 330 с.
7. *Радкевич Я.М.* Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов/ Я.М. Радкевич, А.Г.Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2007.
8. РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
9. *Сергеев А.Г.* Метрология. Стандартизация. Сертификация: учеб. пособие /А.Г.Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 525 с.
10. *Сытько И.И.* Измерительные приборы РЭТ: учеб. пособие/И.И. Сытько. – СПб.: Изд-во СПбВУРЭ, 1996. – 96 с.
11. *Сытько И.И.* Метрология, стандартизация и сертификация. Стандартизация: учеб. пособие/И.И. Сытько. – СПб.: Изд-во СПбВВУРЭ, 2006. – 71 с.
12. *Сытько И.И.* Метрология и измерительная техника. МУ к практ. занятиям/И.И. Сытько. – СПб.: Изд-во НМСУ «Горный», 2015б. – 52 с.
13. *Тартаковский Д.Ф.* Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов/Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш. шк., 2002. – 205 с.

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                 | 2  |
| Практическое занятие № 1. Применение теории<br>размерности для проверки правильности формул....               | 3  |
| Практическое занятие № 2. Применение методов<br>измерения типовых физических величин.....                     | 5  |
| Практическое занятие № 3. Расчет погрешностей<br>измерений .....                                              | 10 |
| Практическое занятие № 4. Обработка<br>экспериментальных данных при многократном<br>измерений.....            | 14 |
| Практическое занятие № 5. Выбор средств<br>измерений по точности при измерении и контроле<br>параметров ..... | 18 |
| Практическое занятие № 6. Измерение параметров<br>электрических сигналов.....                                 | 20 |
| Практическое занятие № 7. Расчет рядов<br>взаимосвязанных параметров.....                                     | 23 |
| Практическое занятие № 8.Порядок заполнения бланка<br>сертификата соответствия.....                           | 27 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                               | 32 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                                                                                 | 33 |

**А. Ю. КОВРИЖНЫХ**  
**Е. А. КОНОНЧУК**  
**Г. Е. ЛУЗИНА**

# ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Часть 1. Задачи и упражнения

Практикум

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

А. Ю. Коврижных  
Е. А. Конончук  
Г. Е. Лузина

# ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Практикум  
В двух частях

## Часть 1. Задачи и упражнения

Рекомендовано методическим советом УрФУ  
в качестве учебно-методического пособия для студентов,  
обучающихся по программам бакалавриата и специалитета  
по направлениям подготовки 04.03.01 «Химия»,  
04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2016

УДК 004.4(075.5)  
К 568

Рецензенты:

И. Н. К а н д о б а, кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник отдела прикладных проблем управления  
(Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН);

Г. Б. З а х а р о в а, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой прикладной информатики  
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет)

**Коврижных, А. Ю.**

К 568 Основы алгоритмизации и программирования : практикум : [учеб.-метод. пособие]. В 2 ч. Ч. 1. Задачи и упражнения / А. Ю. Коврижных, Е. А. Конончук, Г. Е. Лузина ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 52 с.

ISBN 978-5-7996-1888-9

ISBN 978-5-7996-1886-5 (часть 1)

В первой части практикума помещены задания по программированию линейных, разветвляющихся, циклических процессов, алгоритмов с использованием массивов и рассматриваются примеры выполнения этих заданий на языках Паскаль и С#.

Излагаемый материал рекомендуется использовать в ходе практических и лабораторных занятий, при выполнении домашних работ и при подготовке к зачету.

Адресовано студентам, обучающимся по направлениям подготовки «Химия» и «Фундаментальная и прикладная химия».

УДК 004.4(075.5)

ISBN 978-5-7996-1888-9

ISBN 978-5-7996-1886-5 (часть 1)

© Уральский федеральный университет, 2016

## ОТ АВТОРОВ

Цель данного практикума – оказать помощь студентам в организации самостоятельной работы при освоении разделов образовательной программы по информатике, посвященных основам алгоритмизации и программирования, и дать преподавателю необходимый минимум материала для проведения лабораторных и практических занятий.

В процессе многолетнего преподавания информатики у авторов сложилось убеждение, что для закрепления знаний, полученных на лекциях, студентам необходимо подробно разбирать типовые задачи в рамках практических занятий и выполнять индивидуальные задания по каждой теме.

Несмотря на то, что сегодня существует большое количество литературы, содержащей задачи по алгоритмизации и программированию, авторы пособия, основываясь на собственном опыте проведения занятий по курсу «Информатика» для студентов, приобретающих специальности естественно-научных направлений, сформировали перечень задач и упражнений, а также набор алгоритмов для расчетно-графических работ, которые необходимы именно этой целевой группе. Часть приведенных задач и примеров заимствована из хорошо зарекомендовавших себя источников (Задачи по программированию / С. А. Абрамов [и др.]. М. : Наука, 1998; Пильщиков В. Н. Сборник упражнений по языку Паскаль : учеб. пособие для вузов. М. : Наука, 1989).

Практикум состоит из двух частей.

Первая часть содержит задачи по основным темам курса «Информатика», читаемому студентам направлений подготовки «Химия» и «Фундаментальная и прикладная химия», – по программированию линейных, разветвляющихся, циклических процессов, алгоритмов с использованием массивов. Каждая тема начинается с разбора типовой задачи, примера построения алго-

ритма и примера программы. Задания не ориентированы на какой-либо конкретный язык программирования. Для типовых задач приведены тексты программ на языках Паскаль и С#. Материал первой части рекомендуется использовать в ходе практических и лабораторных занятий, при выполнении домашних работ и при подготовке к зачету.

Вторая часть практикума содержит расчетно-графические работы по рассматриваемым темам, необходимые теоретические сведения и примеры выполнения типового задания и ориентирована на самостоятельную подготовку студентов.

Для более глубокого изучения дисциплины полезно обращаться к приведенной в обеих частях практикума рекомендуемой литературе.

## ВВЕДЕНИЕ

Современное изучение химии практически всегда связано с применением или разработкой алгоритмов, для реализации которых необходимы программные инструментальные средства. Знание современных информационных технологий и умение пользоваться ими являются обязательными требованиями к квалифицированному специалисту-химику.

При изучении любого языка программирования в первую очередь следует освоить его базовые конструкции, затрагивающие реализацию линейных алгоритмов, программирование разветвлений и циклов. С одной стороны, для этого нужны минимальные знания из курса математики в объеме программы средней школы, а с другой – необходимо усвоение основных простых и составных типов данных изучаемого языка программирования.

На практических занятиях обсуждаются основные этапы решения на компьютере любой задачи. Этими этапами являются:

- 1) постановка задачи;
- 2) математическая формализация;
- 3) построение алгоритма;
- 4) составление программы на языке программирования;
- 5) отладка и тестирование программы.

На этапе постановки задачи должно быть четко определено, что дано и что требуется найти. Студенту следует обратить внимание на следующие аспекты: понятно ли ему условие задачи, какие исходные данные известны и что нужно определить.

На втором этапе дается математическое описание задачи. Строится математическая модель – система математических соотношений (формул, уравнений, неравенств и т. д.), связывающих результаты с исходными данными.

На третьем этапе осуществляется построение алгоритма – четкой инструкции, задающей необходимую последовательность



действий, которая определяет процесс преобразования исходных данных в результаты решения задачи. Алгоритм чаще всего представляется в форме блок-схемы ввиду ее наглядности и универсальности.

Первые три этапа реализуются без использования компьютера. Далее следует четвертый этап, собственно программирование – на определенном языке в определенной системе. Программирование включает в себя следующие составляющие: выбор языка; уточнение способов организации данных; запись алгоритма на выбранном языке программирования.

В нашем случае был выбран язык Паскаль, который считается одним из лучших программных продуктов при изучении основ программирования. Для студентов, изучавших программирование ранее, предложены варианты решений типовых задач на языке C#.

Далее следует пятый этап – отладка и тестирование созданной программы. При отладке испытывается работа программы и исправляются обнаруженные при этом ошибки. Выявить ошибки, связанные с нарушением правил записи программы на языке программирования (синтаксические и семантические ошибки), помогает система программирования. Пользователь получает сообщение об ошибке, исправляет ее и снова предпринимает попытку выполнить программу.

Проверка на компьютере правильности алгоритма производится с помощью тестов. Тест – это конкретный вариант значений исходных данных, для которого известен ожидаемый результат. Прохождение теста – необходимое условие подтверждения правильности программы. На тестах проверяется безошибочность реализации программой запланированного сценария.

Только после удачного тестирования и проверки правильности работы программы последнюю можно сдавать в эксплуатацию (в нашем случае – на проверку преподавателю).

# 1. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ АЛГОРИТМОВ

Л и н е й н ы й а л г о р и т м — это описание действий, которые выполняются однократно в заданном порядке.

## Пример типовой задачи

Для заданных  $a$  и  $b$  вычислить:

$$\begin{cases} z = x^3 + y^3 + 10, \\ y = \sin(b) - \cos(a + x), \\ x = \sqrt{|a + 1|}. \end{cases}$$

## Блок-схема алгоритма

Приведена на рис. 1.

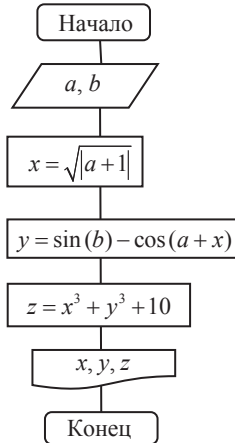


Рис. 1. Блок-схема линейного алгоритма

## Текст программы на языке Паскаль

```
program prim1;
var a, b, x, y, z: real;
begin
 write('введите a=');
 readln(a);
 write('введите b=');
 readln(b);
 x := sqrt(abs(a + 1));
 y := sin(b) - cos(a + x);
 z := sqr(x)*x + sqr(y)*y + 10;
 writeln('x=', x:6:2);
 writeln('y=', y:6:2);
 writeln('z=', z:6:2)
end.
```

## Текст программы на языке C#

```
using System;
namespace ConsoleApplication18
{
 class Program
 {
 static void Main(string[] args)
 {
 Console.Write("введите a=");
 double a = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите b=");
 double b = double.Parse(Console.ReadLine());
 double x = Math.Sqrt(Math.Abs(a + 1));
 double y = Math.Sin(b) - Math.Cos(a + x);
 double z = Math.Pow(x,3) + Math.Pow(y,3) + 10;
 Console.WriteLine("x=" + x.ToString("E"));
 Console.WriteLine("y=" + y.ToString("E"));
 Console.WriteLine("z=" + z.ToString("E"));
 Console.ReadLine();
 }
 }
}
```

## Задачи

1. Известны первый и пятый члены арифметической прогрессии. Найти величину члена прогрессии с номером  $N$  и сумму  $N$  членов.

2. Известны члены арифметической прогрессии с номерами  $N$  и  $M$ . Найти сумму членов с номерами от  $M$  до  $N$  (считать  $M < N$ ).

3. Заданы первый член и знаменатель геометрической прогрессии. Найти сумму членов с номерами от заданного номера  $K$  до заданного номера  $P$  (считать  $K < P$ ).

4. Повесть Рэя Брэдбери называется «451 градус по Фаренгейту». Напечатать название повести в градусной мере по Цельсию. Формула перевода:

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32).$$

5. В классе  $N$  учеников. После контрольной работы было получено:  $A$  – пятерок,  $B$  – четверок,  $C$  – двоек, остальные тройки. Найти процент троек.

6. Для заданных значений вычислить результат:

- |                                                     |                                                                                  |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1) $100^3 - 92^2 + k$ ;                             | 2) $\sqrt{\frac{1 - \cos(x)}{2}}$ ;                                              |
| 3) $\frac{\sqrt{ x } \ln(x^2)}{-5/4x + e^{x/2}}$ ;  | 4) $\sqrt{\sin^2(x) + \cos^2(y^3)}$ ;                                            |
| 5) $\sqrt{x + \sqrt{x^2 + 4y^2}}$ ;                 | 6) $e^{-1/2}(x - \alpha)$ ;                                                      |
| 7) $\operatorname{ctg}(x) - \sin(\sqrt{x^2 + 1})$ ; | 8) $\frac{0,25(a-b)}{\frac{1}{8} - \frac{ b }{10^{n+3} + \frac{\lg(b)}{c-d}}}$ . |

7. Заданы  $x, y, z$ . Вычислить  $a, b$ , если:

$$1) a = \frac{\sqrt{|x-1|} - \sqrt[3]{|y|}}{1 + \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{4}}, \quad b = x \left[ \operatorname{arctg}(z) + e^{-(x+3)} \right];$$

$$2) a = \frac{3 + e^{y-1}}{1 + x^2 |y - \operatorname{tg}(z)|}, \quad b = 1 + |y-x| + \frac{(y-x)^2}{2} + \frac{|y-x|^3}{3};$$

$$3) a = \frac{2 \cos \left( x - \frac{\pi}{6} \right)}{\frac{1}{2} + \sin^2(y)}, \quad b = 1 + \frac{z^2}{3 + \frac{z^2}{5}}.$$

8. Для  $x = -\frac{2}{3}$  вычислить значение многочлена по схеме Горнера:

$$z = 5x^3 + 70x^2 + 14x = [(5x + 70)x + 14]x.$$

9. Заданы три числа  $a, b, c$ . Вычислить их среднее арифметическое:

$$p = \frac{a+b+c}{3}$$

и среднее геометрическое:

$$q = \sqrt[3]{abc}.$$

10. Заданы  $R, r, h$  – измерения усеченного конуса. Вычислить площадь поверхности и объем усеченного конуса по формулам:

$$S = \pi(R+r)l + \pi R^2 + \pi r^2;$$

$$V = \frac{1}{3} \pi (R^2 + r^2 + Rr)h;$$

$$l = \sqrt{h^2 + (R-r)^2}.$$

11. Заданы  $R$  – радиус окружности и  $a$  – сторона правильного вписанного многоугольника. Вычислить сторону правильного вписанного многоугольника с удвоенным числом сторон:

$$b = \sqrt{2R^2 - 2R\sqrt{R^2 - \frac{a^2}{4}}}.$$

12. Заданы  $a, b, c$  – стороны треугольника. Вычислить радиус вписанной окружности:

$$r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p}}$$

и радиус описанной окружности:

$$R = \frac{abc}{4\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}},$$

где

$$p = \frac{a+b+c}{2}.$$

13. Заданы стороны треугольника  $a, b, c$ . Вычислить высоту к стороне  $a$ :

$$h_a = \frac{2}{a}\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)};$$

медиану к стороне  $a$ :

$$m_a = \frac{1}{2}\sqrt{2b^2 + 2c^2 - a^2};$$

биссектрису угла  $A$ :

$$\beta_A = \frac{2\sqrt{bcp(p-a)}}{b+c},$$

где

$$p = \frac{a+b+c}{2}.$$

14. Написать программу, вычисляющую площадь треугольника со сторонами  $a$ ,  $b$  и  $c$  по формуле

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)},$$

где

$$p = \frac{a+b+c}{2}.$$

15. Написать программу, вычисляющую расстояние  $S$  от точки с координатами  $(p, q)$  до прямой, описываемой уравнением  $Ax + By + C = 0$ , по формуле

$$S = \frac{|Ap + Bq + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}.$$

16. Заданы:  $r$  – радиус окружности с центром в точке  $(0, 0)$ ,  $k$  – тангенс угла наклона прямой  $y = kx$  к оси  $Ox$ . Вычислить координаты точек пересечения прямой  $y = kx$  с окружностью  $x^2 + y^2 = r^2$ .

17. Заданы координаты концов отрезка  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$  и два целых числа  $N_1, N_2$ . Вычислить координаты точки  $(x, y)$ , которая делит отрезок в отношении  $N_1/N_2$ : если  $L = N_1/N_2$ , то

$$x = \frac{x_1 + Lx_2}{1+L}, \quad y = \frac{y_1 + Ly_2}{1+L}.$$

18. Найти сумму и произведение цифр заданного трехзначного целого числа  $K$ .

19. Задано целое трехзначное число  $K$ . Найти число, полученное из исходного путем выписывания его цифр в обратном порядке.

20. Плотность железа –  $7,9 \text{ г/см}^3$ , молярная масса –  $56 \text{ г/моль}$ ,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ . Сколько атомов содержится в данном объеме железа?

21. Написать программу, вычисляющую период колебаний  $t$  маятника длины  $l$  по формуле  $t = 2\pi\sqrt{l/g}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м/с}^2$ ).

22. Написать программу, вычисляющую силу притяжения  $F$  между телами массы  $m_1$  и  $m_2$ , находящимися на расстоянии  $r$  друг от друга:  $F = \gamma m_1 m_2 / r^2$ , где гравитационная постоянная  $\gamma = 6,673 \cdot 10^{-8} \text{ см/г} \cdot \text{с}^2$ .

23. Написать программу, вычисляющую периметр  $p$  правильного  $n$ -угольника, описанного около окружности радиуса  $r$  по формуле  $p = 2nr \text{tg}(\pi/n)$ .

24. Написать программу, вычисляющую энергию  $E$ , излучаемую черным телом на волне длиной  $\lambda$  при температуре  $T$ , по формуле

$$E = \frac{2\pi c h \lambda^{-8}}{e^{ch/B\lambda T} - 1},$$

где  $c = 2,997924 \cdot 10^8$  – скорость света;  $h = 6,6252 \cdot 10^{-34}$  – постоянная Планка;  $B = 5,6687 \cdot 10^{-8}$  – постоянная Больцмана.



## 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕНИЙ

Разветвляющийся алгоритм – алгоритм, содержащий хотя бы одно условие, в результате проверки которого выполняется либо одна, либо другая последовательность действий. Выбор направления выполнения алгоритма зависит от исходных или промежуточных данных.

### Пример типовой задачи

Для заданных  $a$ ,  $b$  и  $x$  вычислить:

$$z = \begin{cases} \sin(x) - 1 & \text{при } x \leq a, \\ \cos(x) + 2 & \text{при } a < x < b, \\ \operatorname{tg}(x) - 0,5 & \text{при } x \geq b. \end{cases}$$

### Блок-схема алгоритма

Приведена на рис. 2.

### Текст программы на языке Паскаль

```
program prim2;
var a, b, x, z: real;
begin
 write('введите a='); readln(a);
 write('введите b='); readln(b);
 write('введите x='); readln(x);
 if x <= a then z := sin(x) - 1
 else
 if x >= b then z := sin(x)/cos(x) - 0.5
 else z := cos(x) + 2;
 writeln('z=', z:6:2)
end.
```

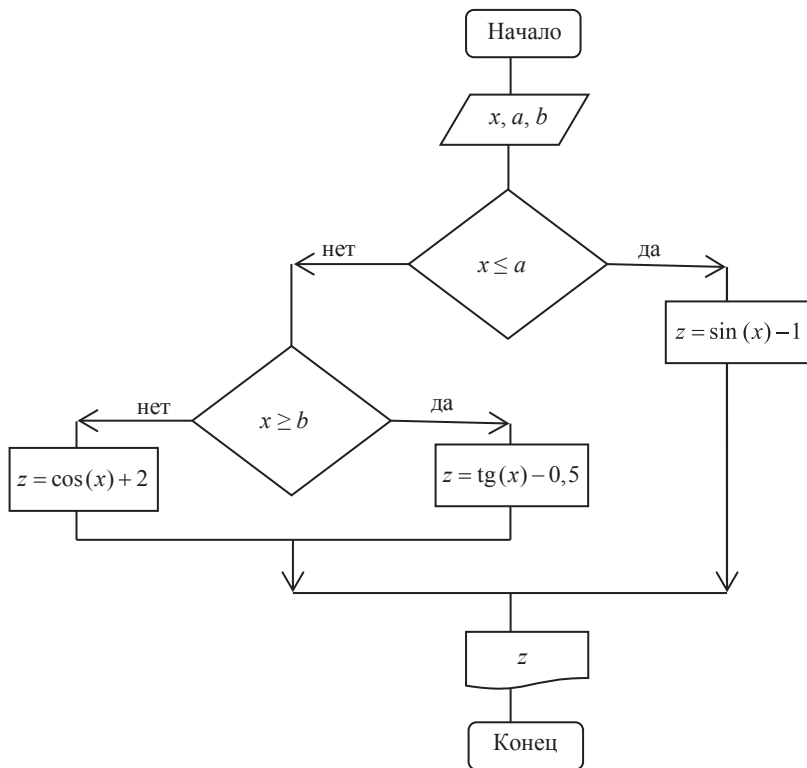


Рис. 2. Блок-схема разветвляющегося алгоритма

## Текст программы на языке С#

```

using System;
namespace ConsoleApplication20
{
 class Program
 {
 static void Main(string[] args)
 {
 Console.Write("введите a=");
 double a = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите b=");
 double b = double.Parse(Console.ReadLine());
 }
 }
}

```

```

Console.Write("Введите x=");
double x = double.Parse(Console.ReadLine());
double z;
if (x <= a)
 z = Math.Sin(x) - 1;
else if (x >= b)
 z = Math.Tan(x) - 0.5;
else
 z = Math.Cos(x) + 2;
Console.WriteLine("z=" + z.ToString("E"));
Console.ReadLine();
}
}
}

```

## Задачи

1. Ввести целое число  $N$ . Выяснить, кратно ли оно трем.
2. По заданным  $x, y$  составить программу вычисления значения  $z$ :

$$1) z = \frac{\min(x, y) + 0,5}{1 + \max^2(x, y)};$$

$$2) z = \begin{cases} \max(x, y) & \text{при } x < 0, \\ \min(x, y) & \text{при } x \geq 0; \end{cases}$$

$$3) z = \begin{cases} \min(x, y) & \text{при } y \geq 0, \\ \max(x^2, y^2) & \text{при } y < 0. \end{cases}$$

3. Даны действительные числа  $x, y, z$ . Получить:

$$L = 2\max(x, z) - 3\min(x, y, z).$$

4. По заданным вещественным числам  $a, b, c$  вычислить:

$$P = \frac{\max(a, b, c) + \min(a, b, c)}{2}.$$

5. Ввести два целых числа. Выяснить, являются ли они оба четными или нечетными, либо одно четное, а другое нечетное.

6. Даны действительные числа  $a, b, c$ . Проверить, выполняются ли неравенства  $a < b < c$ .

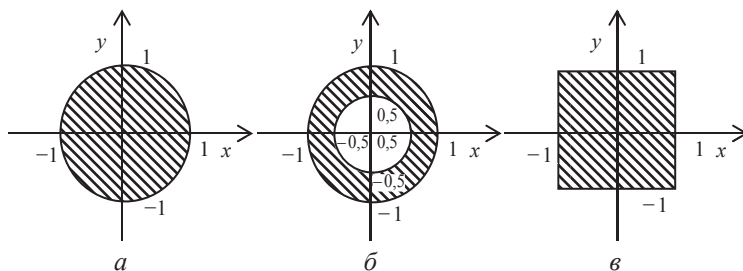
7. Даны действительные числа  $a, b, c$ . Удвоить эти числа, если  $a \geq b \geq c$ , и заменить их абсолютными значениями, если это не так.

8. Даны два действительных числа. Заменить первое число нулем, если оно меньше второго или равно ему, и оставить числа без изменения в противном случае.

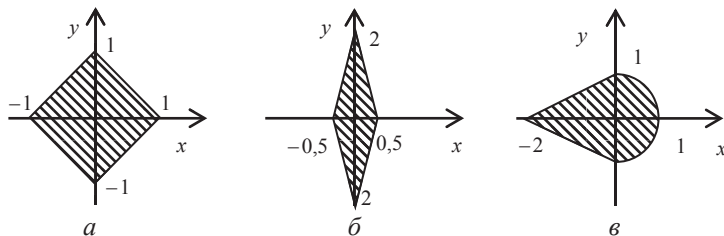
9. Даны три действительных числа. Выбрать из них те, которые принадлежат интервалу  $(1, 3)$ .

10. Даны три числа. Определить, являются ли они последовательными членами арифметической прогрессии, и найти ее разность.

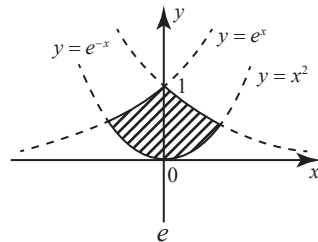
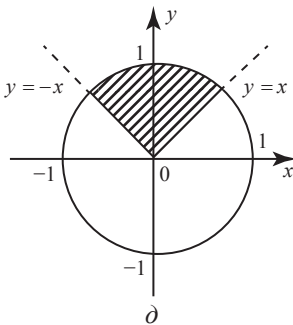
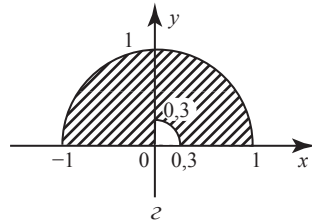
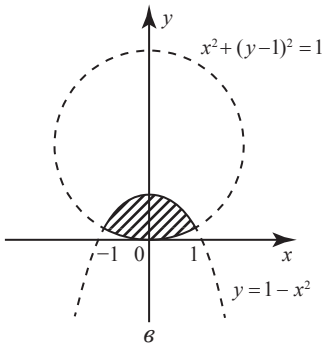
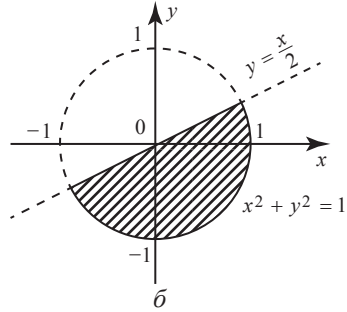
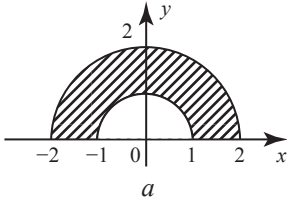
11. Даны действительные числа  $x, y$ . Определить, принадлежит ли точка с координатами  $(x, y)$  заштрихованной части плоскости в вариантах  $a - в$ .



12. Даны действительные числа  $x, y$ . Определить, принадлежит ли точка с координатами  $(x, y)$  заштрихованной части плоскости в вариантах  $a - в$ .



13. Даны действительные числа  $x, y$ . Определить, принадлежит ли точка с координатами  $(x, y)$  заштрихованной части плоскости в вариантах  $a - e$ .



14. Заданы целые числа  $x, y, m, n$ . Если разность  $(x - y)$  меньше остатка от деления  $m$  на  $n$ , увеличить  $x$  на 1.

15. Задано целое трехзначное число  $K$ . Определить, организуют ли цифры этого числа упорядоченную последовательность, и выдать соответствующее сообщение.

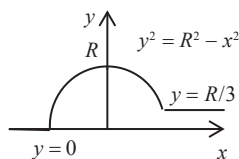
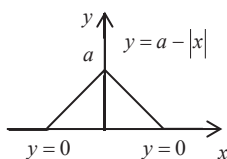
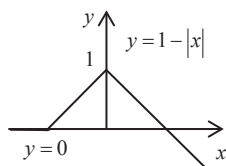
16. По четырехзначному номеру трамвайного билета определить, является ли он счастливым (билет считается счастливым, если сумма первых двух цифр номера совпадает с суммой двух его последних цифр).

17. Заданы целые числа:  $k, l, n, m$ . Проверить, является ли  $k$  делителем всех чисел.

18. Заданы размеры  $A, B$  прямоугольного отверстия и размеры  $x, y, z$  кирпича. Определить, проходит ли кирпич через отверстие.

19. Заданы числа  $a, b, c$ . Напечатать эти числа в порядке убывания их абсолютных величин.

20. Дано действительное число  $a$ . Для функций  $f(x)$ , графики которых представлены ниже, вычислить  $f(a)$ .



21. Написать программу для вычисления значения функции  $f$  для заданного значения  $x$ :

$$1) f(x) = \begin{cases} 4 & \text{при } x < 0, \\ x^2 + 3x + 4 & \text{при } 0 \leq x < 1, \\ x + 7 & \text{при } x > 1; \end{cases}$$

$$2) f(x) = \begin{cases} \sin^2\left(x + \frac{\pi}{2}\right) & \text{при } x < 0, \\ e^x \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) & \text{при } a \leq x \leq b, \\ \sqrt{\left|\sin\left(x + \frac{\pi}{3}\right)\right| + 2,1 \cdot 10^{-3}} & \text{при } x > b. \end{cases}$$

22. Заданы числа  $k, l, m$  (целые) и  $x$ . Вычислить величины  $y(x)$  и  $x(y)$ :

$$y(x) = \begin{cases} \frac{\sin|x|}{\sqrt{x^2+1}}, & \text{если } m = \min(k, l), \\ |x| \ln(1+x), & \text{если } m = \max(k, l), \\ x^3 + x + 10^{-2}, & \text{если } m \in [\min(k, l), \max(k, l)], \\ -1 & \text{в остальных случаях;} \end{cases}$$

$$z(y) = y^4 - y^2 + 5.$$

23. Выяснить, попадает ли точка с координатами  $(x_0, y_0)$  в кольцо, образованное окружностями  $x^2 + y^2 = r^2$  и  $x^2 + y^2 = R^2$  ( $r < R$ ).

24. Определить, в какой координатной четверти находится заданная точка с координатами  $(x, y)$ .

25. Заданы числа  $x, y, R$ . Определить расстояние от точки с координатами  $(x, y)$  до контура полукруга радиуса  $R$  с центром в начале координат, расположенного в нижней полуплоскости.

26. Заданы координаты  $(x_0, y_0)$  точки на плоскости. Проверить, лежит ли точка в верхней полуплоскости, и выдать соответствующее сообщение.

27. Ввести три вещественных числа  $a, b, c$  – длины трех отрезков. Если отрезки могут быть сторонами треугольника, найти его периметр и площадь.

28. Найти решение системы уравнений:

$$\begin{cases} ax + by = c, \\ dx + ey = f. \end{cases}$$

29. Определить, является ли заданный год  $N$  високосным. Год високосный, если  $N$  не кратно 100 и число, изображаемое его двумя последними цифрами, кратно четырем. Если  $N$  кратно 100, то год високосный лишь при  $N$ , кратном 400.

30. Заданы координаты вершин прямоугольника со сторонами, параллельными осям координат. Определить площадь части прямоугольника, расположенной в первой координатной четверти.

31. На плоскости заданы точки  $M_1(x_1, y_1)$ ,  $M_2(x_2, y_2)$ ,  $N_1(x_3, y_3)$ ,  $N_2(x_4, y_4)$ . Проверить, являются ли параллельными прямые, одна из которых проходит через точки  $M_1$ ,  $M_2$ , а другая – через точки  $N_1$ ,  $N_2$ . Если прямые пересекаются, то найти координаты точки пересечения.

32. Два прямоугольника со сторонами, параллельными осям координат, заданы координатами двух своих противоположных вершин:  $M_1(x_1, y_1)$ ,  $M_2(x_2, y_2)$  – первый,  $N_1(x_3, y_3)$ ,  $N_2(x_4, y_4)$  – второй прямоугольник. Найти площадь их пересечения.

33. Найти координаты точек пересечения прямой  $y = kx + b$  и окружности радиуса  $R$  с центром в начале координат. Определить, сколько точек пересечения расположены в первой координатной четверти.

34. Заданы числа  $k$ ,  $a$ ,  $b$ . Определить число точек пересечения прямой  $y = kx + b$  с гиперболой  $y = a/x$  и их координаты.

35. Заданы числа  $k$ ,  $a$ ,  $b$ . Проверить, попадают ли вещественные корни уравнения  $x^2 + ax + b = 0$  в интервал  $(-k, k)$ .

36. Заданы числа  $a$ ,  $b$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ( $a < b$ ). Определить, какие из чисел  $x$ ,  $y$ ,  $z$  попадают в отрезок  $[a, b]$ . Напечатать также количество таких чисел.

37. Заданы координаты двух точек на плоскости  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  и числа  $R$ ,  $P$  ( $R > 0$ ). Определить, попадают ли обе точки внутрь полукруга радиуса  $R$  с центром в точке  $(P, 0)$ , лежащего в верхней полуплоскости.



38. Заданы числа  $a, b, c, d$  ( $a < b, c < d$ ) и  $x$ . Определить, принадлежит ли  $x$  какому-либо из отрезков  $[a, b], [c, d]$  или их общей части. Ответ выдать в виде сообщения.

39. Заданы числа  $k, b, c, d, e$ . Определить количество и координаты точек пересечения прямой  $y = kx + b$  и параболы  $y = cx^2 + dx + e$  и расстояние от каждой точки до начала координат.

40. Заданы числа  $k, b, a, l$ . Определить, попадают ли обе точки пересечения прямой  $y = kx + b$  и параболы  $y = ax^2$  в квадрат со стороной  $l$  и центром в начале координат (стороны параллельны осям). Напечатать сообщение и координаты точек.

41. Заданы числа  $a, b, c, u, v$ . Найти наибольшее и наименьшее значения функции  $y = ax^2 + bx + c$  на отрезке  $[u, v]$ .

42. Составить программу, определяющую число действительных корней биквадратного уравнения  $ax^4 + bx^2 + c = 0$ .

43. Заданы  $k_1, b_1, k_2, b_2$  и  $e$  ( $e > 0$ ). Определить, содержится ли точка пересечения прямых  $y = k_1x + b_1$  и  $y = k_2x + b_2$  в  $e$  – окрестности начала координат. Если прямые совпадают, то проверить пересечение прямой с  $e$  – окрестностью начала координат.

44. Ввести  $N_1, N_2, N_3$  – количества пропущенных часов занятий в среднем на студента за неделю для трех групп. Если  $\min(N_1, N_2, N_3) < 10$ , то напечатать: «Есть хорошая группа».

45. Ввести  $N_1, N_2, N_3$  – количества рекламаций на 3 вида товаров. Напечатать текст «Все товары хорошие», если  $\max(N_1, N_2, N_3) < 5$ , иначе – «Есть плохие товары».

46. По номеру дня недели выдать сообщение, каким он является – рабочим или выходным.

### 3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ИТЕРАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ

Циклический алгоритм – это описание действий, которые в зависимости от исходных данных могут повторяться многократно. Последовательность действий, предназначенная для многократного исполнения, называется телом цикла.

Итерационные циклы – это алгоритмы, в которых тело цикла выполняется в зависимости от какого-либо условия. Различают циклы с предусловием и постусловием.

Цикл с предусловием – цикл, который выполняется, пока истинно некоторое условие, указанное перед его началом. Это условие проверяется до выполнения тела цикла, поэтому последнее может быть ни разу не выполнено (если условие с самого начала ложно).

Цикл с постусловием – цикл, в котором условие проверяется после выполнения тела цикла. Отсюда следует, что тело данного цикла всегда выполняется хотя бы один раз.

#### Пример типовой задачи

Вычислить значения функции  $y = \cos(x) - e^{x/2}$  при изменении аргумента  $x$  на заданном интервале  $[c, d]$  с заданным шагом  $h$ .

#### Решение с использованием цикла с предусловием

#### Блок-схема алгоритма

Приведена на рис. 3.

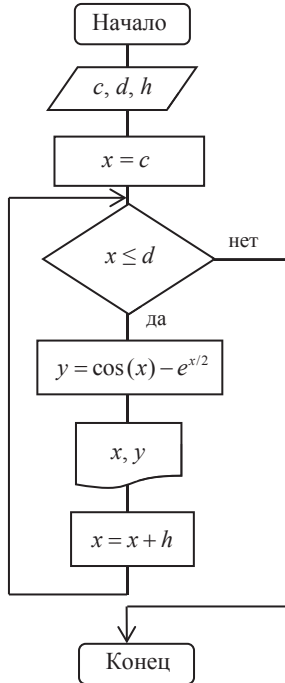


Рис. 3. Блок-схема алгоритма с использованием цикла с предусловием

### Текст программы на языке Паскаль

```

program prim3;
var c, d, h, x, y: real;
begin
write('c='); readln(c);
write('d='); readln(d);
write('h='); readln(h);
x := c;
d := d + h/2;
while x <= d do
begin
y := cos(x) - exp(x/2);
writeln('x=', x:6:2, 'y=', y:6:2);
x := x + h;
end;
end.

```

## Текст программы на языке C#

```
using System;
namespace ConsoleApplication21
{
 class Program
 {
 static void Main(string[] args)
 {
 Console.Write("введите c=");
 double c = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите d=");
 double d = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите h=");
 double h = double.Parse(Console.ReadLine());
 double y, x = c;
 d = d + h/2;
 while (x <= d) {
 y = Math.Cos(x) - Math.Exp(x/2);
 Console.WriteLine("x={0}, y={1}", x, y);
 x = x + h;
 }
 Console.ReadLine();
 }
 }
}
```

## Решение с использованием цикла с постусловием

### Блок-схема алгоритма

Приведена на рис. 4

### Текст программы на языке Паскаль

```
program prim4;
var c, d, h, x, y: real;
begin
 write('c='); readln(c);
 write('d='); readln(d);
```

```

write('h='); readln(h);
x := c;
d := d + h/2;
repeat
 y := cos(x) - exp(x/2);
 writeln('x=', x:6:2, 'y=', y:6:2);
 x := x + h
until x > d;
end.

```

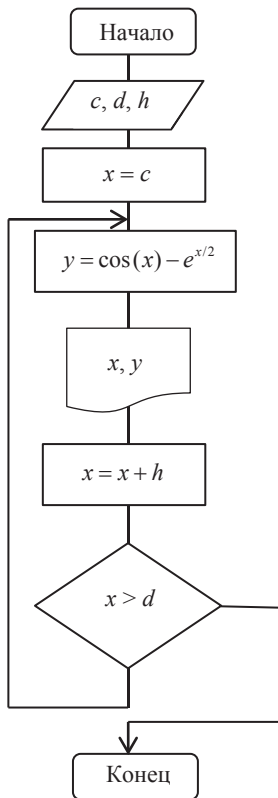


Рис. 4. Блок-схема алгоритма с использованием цикла с постусловием

## Текст программы на языке C#

```
using System;
namespace ConsoleApplication22
{
 class Program
 {
 static void Main(string[] args)
 {
 Console.Write("введите c=");
 double c = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите d=");
 double d = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите h=");
 double h = double.Parse(Console.ReadLine());
 double y, x = c;
 d = d + h/2;
 do {
 y = Math.Cos(x) - Math.Exp(x/2);
 Console.WriteLine("x = {0}, y = {1}", x, y);
 x = x + h;
 } while (x <= d);
 Console.ReadLine();
 }
 }
}
```

## Задачи

1. Найти наибольшее целое  $n$  такое, что
  - 1)  $3n^4 - 730n < 5$ ;
  - 2)  $e^n - 1000 \ln(n) \leq 10$ .
2. Дано целое число  $m > 1$ . Получить наибольшее целое  $k$ , при котором  $4^k < m$ .
3. Дано натуральное число  $n$ . Получить наименьшее число вида  $2^r$ , превосходящее  $n$ .
4. Числа Фибоначчи определяются формулами:

$$f_0 = f_1 = 1; f_n = f_{n-1} + f_{n-2} \text{ при } n = 2, 3, \dots$$

- 1) Найти  $f$  – первое число Фибоначчи, большее заданного  $m$  ( $m > 1$ ).

2) Вычислить  $S$  – сумму всех тех чисел Фибоначчи, которые не превосходят 1000.

5. Вычислить число  $\frac{\pi}{4}$  через разложение в ряд

$$\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \frac{1}{2k-1}$$

с точностью  $\varepsilon = 10^{-3}$ . Сравнить с точным значением.

6. Составить программу приближенного вычисления значения  $\frac{\pi}{2}$  с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$ , используя формулу

$$\frac{\pi}{2} = \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{6}{7} \cdot \dots = \prod_{i=1}^{\infty} \frac{(2i)^2}{(2i-1)(2i+1)}$$

Вычисления заканчивать, если

$$\left| \frac{(2i)^2}{(2i-1)(2i+1)} - 1 \right| < \varepsilon.$$

Сравнить с точным значением.

7. Вычислить бесконечную сумму с заданной точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$ .

1)  $\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^2}$ ;                      2)  $\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i(i+1)}$ ;

3)  $\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i}{i!}$ ;                      4)  $\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-2)^i}{i!}$ .

8. Составить программы вычисления значений функций с помощью разложений в ряд:

1)  $\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \frac{x^k}{k}$ ;

2)  $\sin(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}$ ;

$$3) \cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!};$$

$$4) e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!}.$$

Вычислять с точностью до члена ряда, меньшего  $\varepsilon$ . Сравнить с точными значениями функций.

9. Определить приближенное (с точностью до 0,1) значение корня уравнения  $x - \arctg(x) = \pi$ . Изменять  $x$  от 2 с шагом  $h = 0,1$ ; изменение знака функции является признаком пересечения оси  $Ox$ .

10. Найти корень уравнения  $F(x) = 0$  методом деления отрезка пополам с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$ . (Ниже рядом с каждым уравнением указан отрезок, содержащий корень.)

1)  $F(x) = \lg(x) - 2,1 + x; [1, 3].$

2)  $F(x) = \lg(x) - 0,16/x; [1, 10].$

3)  $F(x) = x + \ln(x + 0,5) - 0,5; [0, 2].$

4)  $F(x) = x^5 - x - 0,2; [1, 1,1].$

5)  $F(x) = x^4 + 2x - x - 1; [0, 1].$

6)  $F(x) = x^3 - 0,2x^2 - 0,2x - 1,2; [1, 1,5].$

Метод деления отрезка пополам для уравнения  $F(x) = 0$  состоит в многократном делении отрезка  $[a, b]$  точкой  $c$  пополам и выборе той половины отрезка, на которой остался корень уравнения. Вычисления производятся до достижения точности  $\varepsilon: |b - a| < \varepsilon$ .

11. Вычислить приближенное значение корня уравнения  $x = \varphi(x)$  методом простой итерации с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$ . (Ниже рядом с каждой функцией  $\varphi(x)$  в скобках указано начальное приближение  $x_0$  к корню.)

1)  $\varphi(x) = \frac{e^x}{4,7}; (0).$

2)  $\varphi(x) = \frac{1+x^4}{6}; (0,2).$



$$3) \varphi(x) = \frac{\sin(x)}{2} + 1; (0). \quad 4) \varphi(x) = \frac{1-2x^3}{4}; (0,11).$$

$$5) \varphi(x) = \frac{2-x^3}{12}; (0,95). \quad 6) \varphi(x) = \frac{8+8\ln(x)}{5}; (4,32).$$

Метод простой итерации для решения уравнения  $x = \varphi(x)$  состоит в последовательном приближении к корню по формулам  $x_{k+1} = \varphi(x_k)$ . Вычисления заканчиваются, когда  $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ .

12. Найти корень уравнения  $F(x) = 0$  методом Ньютона с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$ . (Ниже рядом с каждым уравнением указано начальное приближение  $x_0$  к корню.)

$$1) x^3 - 2x^2 + x - 3 = 0; (2,2).$$

$$2) \operatorname{tg}(x) - x = 0; (4,67).$$

$$3) 1,8x^4 - \sin(10x) = 0; (0,22).$$

$$4) x^3 - 6x^2 + 20 = 0; (2,31).$$

Метод Ньютона (касательных) для уравнения  $F(x) = 0$  состоит в нахождении  $x_{k+1} = x_k - F(x_k)/F'(x_k)$ . Вычисления заканчиваются, когда  $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ .

13. Решить уравнение  $\cos(x) - 4,7x = 0$  упрощенным методом Ньютона:  $x_{k+1} = x_k - F(x_k)/F'(x_0)$  с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$ . Вычисления заканчиваются, когда  $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ .

14. Решить с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$  уравнение  $\sin(x) - x + 2,7 = 0$  методом неподвижных хорд:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{F(x_k)(x_k - x_0)}{F(x_k) - F(x_0)}.$$

Выбрать  $x_0$  и  $x_1$ . Вычисления заканчиваются, когда  $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ .

15. Решить с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$  уравнение  $1,7 \cos(x) - e^x = 0$  методом подвижных хорд:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{F(x_k)(x_k - x_{k-1})}{F(x_k) - F(x_{k-1})}.$$

Вычисления заканчиваются, когда  $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ .

16. Вычислить приближенно значение квадратного корня из числа  $a$  по формуле Ньютона  $x_{i+1} = 0,5(a/x_i + x_i)$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ , где  $x_0$  – начальное приближение к корню. Вычисления прекратить при требуемой точности, т. е. при выполнении условия  $|x_{i+1} - x_i| < \varepsilon$ .

17. С заданной точностью  $\varepsilon$  найти предел последовательности с элементом  $a_n = n/\sqrt{n^3 + 1}$  при  $n \rightarrow \infty$ . Точность считать достигнутой, как только выполнится неравенство  $|a_{n+1} - a_n| < \varepsilon$ .

18. Задано действительное число  $a$ . Среди чисел вида

$$1; 1 + \frac{1}{2}; 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}; \dots$$

найти первое, большее  $a$ .

19. Найти предел последовательности  $\{y_k\}$ , если  $y_0 = 2(2 - \sqrt{2})$ ,  $y_{k+1} = \frac{3}{2}y_k - \frac{1}{2}xy_k^3$  (число  $x$  задано) с точностью  $\varepsilon$ .

20. Даны положительные действительные числа  $a, x, \varepsilon$ . В последовательности  $y_0, y_1, y_2, \dots$ , образованной по закону:  $y_0 = 0$ ,

$$y_i = \frac{1}{2} \left( y_{i-1} + \frac{x}{y_{i-1}} \right), \quad i = 1, 2, \dots$$

Найти первый член  $y_n$ , для которого выполнено неравенство  $|y_n - y_{n-1}| < \varepsilon$ .

21. Пусть  $x_0 = 1$ ;

$$x_i = \frac{2 - x_{i-1}^3}{5}, \quad i = 1, 2, \dots$$

Найти первый член  $x_n$ , для которого  $|x_n - x_{n-1}| < \varepsilon$ .

22. Пусть  $y_0 = 0$ ;

$$y_i = \frac{y_{i-1} + 1}{y_{i-1} + 2}, \quad i = 1, 2, \dots$$

Дано действительное число  $\varepsilon > 0$ . Найти первый член  $y_n$ , для которого выполнено неравенство  $|y_n - y_{n-1}| < \varepsilon$ .

23. Дано действительное число  $a > 0$ . Последовательность  $x_0, x_1, x_2, \dots$  образована по закону:

$$x_0 = \begin{cases} \min(2a, 0,95) & \text{при } a \leq 1, \\ \frac{a}{5} & \text{при } 1 < a < 25, \\ \frac{a}{25} & \text{при других } a; \end{cases}$$

$$x_n = \frac{4}{5}x_{n-1} + \frac{a}{5x_{n-1}^4}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Найти первый член  $x_n$ , для которого

$$\frac{5}{4}a |x_n - x_{n-1}| < 10^{-6}.$$

24. Дано действительное число  $\varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ ). Последовательность  $a_1, a_2, \dots$  образована по следующему закону:

$$1) a_n = \frac{n}{\sqrt{n^2 + 1} - \sqrt{n^2 - 1}};$$

$$2) a_n = \left(1 - \frac{1}{2}\right) \left(1 - \frac{1}{3}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{n+1}\right);$$

$$3) a_n = \left(1 - \frac{1}{2!}\right) \left(1 + \frac{1}{3!}\right) \dots \left(1 + \frac{(-1)^n}{(n+1)!}\right).$$

Найти первый член  $a_n$ , для которого выполнено условие:  $|a_n - a_{n-1}| < \varepsilon$ .

25. Даны действительные числа  $x, \varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ ). Последовательность  $a_1, a_2, \dots$  образована по следующему закону:  $a_1 = x$ ; далее для  $n = 2, 3, \dots$  выполнено:

$$1) a_n = \sqrt{|4a_{n-1}^2 - 2x|};$$

$$2) a_n = \frac{16+x}{1+|a_{n-1}^3|} + 3a_{n-1};$$

$$3) a_n = 2a_{n-1} + \frac{x}{4 + a_{n-1}^2}; \quad 4) a_n = 3 + \frac{1}{2^n} \cos^2(a_{n-1} - x).$$

Найти первый член  $a_n$ , для которого выполнено условие:

$$|a_n - a_{n-1}| < \varepsilon.$$

26. Даны действительные числа  $a, b, \varepsilon$  ( $a > b > \varepsilon > 0$ ). Последовательности  $x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots$  образованы по закону:

$$x_1 = a; \quad y_1 = b; \quad x_k = \frac{1}{2}(x_{k-1} + y_{k-1}); \quad y_k = \sqrt{x_{k-1}y_{k-1}}.$$

Найти первое  $x_n$  такое, что  $|x_n - y_n| < \varepsilon$

27. Дано натуральное число  $n$ .

- 1) Сколько цифр в этом числе?
- 2) Чему равна сумма его цифр?
- 3) Выяснить, входит ли цифра 3 в запись числа  $n$ .
- 4) Поменять порядок цифр числа  $n$  на обратный.
- 5) Переставить первую и последнюю цифры числа  $n$ .
- 6) Сколько раз входит 0 в запись этого числа?
- 7) Проверить, будет ли сумма квадратов цифр, составляющих это число, больше самого числа.

28. Вводится произвольное количество вещественных чисел, за которыми следует  $-1000$ . Найти среднее арифметическое отрицательных и среднее арифметическое неотрицательных чисел.

29. Вводится произвольное количество натуральных чисел, за которыми следует 0.

- 1) Сосчитать количество четных, нечетных чисел и диапазоны их изменения.
- 2) Определить порядковый номер наименьшего из них.

30. Дана непустая последовательность вещественных чисел, за которыми следует  $-100$ . Найти сумму квадратов тех чисел, которые не превосходят число 2.

31. Дано не менее трех различных натуральных чисел, за которыми следует 0. Определить наибольшее из них.

32. Дана непустая последовательность ненулевых целых чисел, за которой следует 0. Определить, сколько раз в этой последовательности меняется знак. Например, в последовательности 1, -34, 8, 14, -5 знак меняется 3 раза.

33. Вводится произвольное количество натуральных чисел, за которыми следует 0. Для каждого из них напечатать разложение на простые множители.

## 4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ СО СЧЕТЧИКОМ

Цикл со счетчиком – это циклический алгоритм, в котором тело цикла выполняется заранее известное число раз.

Параметр цикла (счетчик) изменяет свое значение от заданного начального до заданного конечного, и для каждого значения этой переменной тело цикла выполняется один раз.

### Пример типовой задачи

Вычислить значения функции  $y = \cos(x) - e^{x/2}$  при изменении аргумента  $x$  на заданном интервале  $[c, d]$  с заданным шагом  $h$ .

### Блок-схема алгоритма

Приведена на рис. 5.

### Текст программы на языке Паскаль

```
program prim5;
var c, d, h, x, y: real;
 m1, m2, i: integer;
begin
write('c='); readln(c);
write('d='); readln(d);
write('h='); readln(h);
x := c;
m1 := 1;
m2 := trunc((d - c)/h) + 1;
for i := m1 to m2 do
begin
 y := cos(x) - exp(x/2);
 writeln('x=', x:6:2, 'y=', y:6:2);
 x := x+h
end
end.
```

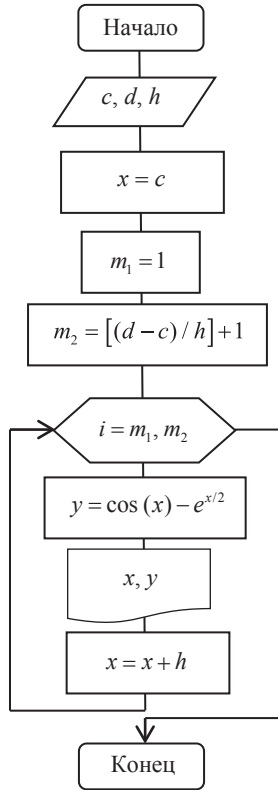


Рис. 5. Блок-схема алгоритма цикла со счетчиком

## Текст программы на языке C#

```

using System;
namespace ConsoleApplication23
{
 class Program
 {
 static void Main(string[] args)
 {
 Console.Write("введите c=");
 double c = double.Parse(Console.ReadLine());
 Console.Write("введите d=");

```

```

double d = double.Parse(Console.ReadLine());
Console.Write("введите h=");
double h = double.Parse(Console.ReadLine());
double y, x = c;
for (int i = 1, m2 = (int)Math.Floor((d-c)/h)+1;
i <= m2; ++i) {
 y = Math.Cos(x) - Math.Exp(x/2);
 Console.WriteLine("x={0}, y={1}", x, y);
 x = x + h;
}
Console.ReadLine();
}
}
}

```

## Задачи

1. Вычислить  $10!$ .
2. Задана последовательность чисел от 1 до 20. Найти сумму квадратов этих чисел.
3. Заданы числа  $x, h, n$  ( $n$  – целое). Определить количество тех членов последовательности  $\cos(x), \cos(x + h), \cos(x + 2h), \dots, \cos(x + nh)$ , которые по абсолютной величине меньше 0,5.

4. Заданы числа  $a, b, h$ . Вычислить сумму значений функции

$$f(x) = \sqrt{1 + 2x + 3x^3}$$

для  $x$ , принадлежащих отрезку  $[a, b]$  и изменяющихся с шагом  $h$ .

5. Вычислить значения многочлена  $2a^5 - 2a^2 - 1,7a + 12$  для  $a = 0; 1,5; 3; 4,5; 6; 7,5; 9; 10,5$ .

6. Вычислить последовательность значений функции

$$y = \frac{3x^2 - 2}{4}$$

для значений аргумента  $x = 0; 0,05; 0,1; \dots, 10$ .



7. Составить программу вычисления степени с натуральным показателем  $y = a^n$ ,  $a > 0$ .

8. Составить программу, определяющую, является ли натуральное число  $n$  простым (число называют простым, если оно делится только на единицу и на себя).

9. Автомат отпускает максимум  $n$  единиц товара по  $z$  рублей за одну единицу и выдает сдачу. У каждого покупателя  $s$  рублей. Составить программу обслуживания автоматом очереди из  $k$  покупателей.

10. Необходимо протестировать группу из  $n$  человек. Каждый из них вводит:

- 1 – если он изучал английский язык,
- 2 – если немецкий,
- 3 – если французский,
- 0 – если не изучал никакой.

Составить программу, определяющую, сколько человек в каждой языковой группе.

11. Имеется часть катушки с автобусными билетами. Номер билета шестизначный. Составить программу, определяющую количество счастливых билетов на катушке, если меньший номер билета –  $n$ , больший –  $m$ .

12. Пусть  $a_0 = 1$ ,  $a_k = ka_{k-1} + 1/k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ . Дано натуральное число  $n$ . Получить  $a_n$ .

13. Пусть  $x_0 = c$ ,  $x_1 = d$ ,  $x_k = qx_{k-1} + rx_{k-2} + b$ ,  $k = 2, 3, \dots$ . Даны действительные  $q, r, b, c, d$  и натуральное  $n$  ( $n \geq 2$ ). Получить  $x_n$ .

14. Пусть  $u_0 = u_1 = 1$ ;  $v_0 = v_1 = 1$ ;

$$u_i = \frac{u_{i-1} - u_{i-2}v_{i-1} - v_{i-2}}{1 + u_{i-1}^2 + v_{i-1}^2}; \quad v_i = \frac{u_{i-1} - v_{i-1}}{|u_{i-2} - v_{i-1}| + 2}; \quad i = 3, 4, \dots$$

Дано натуральное число  $n$  ( $n \geq 3$ ). Получить  $v_n$ .

15. Пусть

$$a_0 = a_1 = 1; a_i = a_{i-2} + \frac{a_{i-1}}{2^{i-1}}; i = 2, 3, \dots$$

Найти произведение  $a_0 \cdot a_1 \cdot \dots \cdot a_{14}$ .

16. Пусть

$$a_1 = b_1 = 1; a_k = \frac{1}{2} \left( \sqrt{b_{k-1}} + \frac{1}{2} \sqrt{a_{k-1}} \right); b_k = 2a_{k-1}^2 + b_{k-1}; k = 2, 3, \dots$$

Дано натуральное число  $n$ . Найти

$$\sum_{k=1}^n a_k b_k.$$

17. Пусть  $x_1 = y_1 = 1; x_i = 0,3 x_{i-1}; y_i = x_{i-1} + y_{i-1}; i = 2, 3, \dots$

Дано натуральное число  $n$ . Найти

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{1 + |y_i|}.$$

18. Пусть

$$a_1 = b_1 = 1; a_k = 3b_{k-1} + 2a_{k-1}; b_k = 2a_{k-1} + b_{k-1}; k = 2, 3, \dots$$

Дано натуральное число  $n$ . Найти

$$\sum_{k=1}^n \frac{2^k}{(1 + a_k^2 + b_k^2) k!}.$$

19. Пусть  $a_1 = u; b_1 = v; a_k = 2b_{k-1} + a_{k-1}; b_k = 2a_{k-1}^2 + b_{k-1}; k = 2, 3, \dots$ . Даны действительные  $u, v$ , натуральное  $n$ . Найти

$$\sum_{k=1}^n \frac{a_k b_k}{(k+1)!}.$$

20. Пусть  $x_1 = x_2 = x_3 = 1; x_i = x_{i-1} + x_{i-3}; i = 4, 5, \dots$ . Найти

$$\sum_{i=1}^{100} \frac{x_i}{2^i}.$$

21. Даны натуральное число  $n$ , действительное число  $x$ .  
Вычислить:

1)  $x^{n^2}/2^n$ ;

2)  $x^{n^3}/3^n$ .

22. Даны действительные числа  $a, b$  ( $b > a$ ), натуральное число  $n$ . Получить  $(f_1 + \dots + f_n)h$ , где

$$h = \frac{b-a}{n}, \quad f_i = \frac{a + \left(i - \frac{1}{2}\right)h}{1 + \left[ a + \left(i - \frac{1}{2}\right)h \right]^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

23. Вычислить

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{3 + \frac{1}{5 + \frac{1}{\dots}}}} = 101 + \frac{1}{103}.$$

24. Дано натуральное число  $n$ . Вычислить  $1 \cdot 2 + 2 \cdot 3 \cdot 4 + \dots + n \cdot (n+1) \cdot \dots \cdot 2n$ .

25. Даны целые числа  $n, k$  ( $n \geq k \geq 0$ ). Вычислить

$$\frac{n(n-1) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{k!}.$$

26. Пусть  $n$  – натуральное число, и пусть  $n!!$  означает  $1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot n$  для нечетного  $n$  и  $2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot n$  для четного  $n$ . Для заданного натурального  $n$  вычислить:

1)  $n!!$ ;

2)  $(-1)^{n+1} n!!$ .

27. Вычислить:

$$1) \sum_{i=1}^{100} \frac{1}{i^2}; \quad 2) \sum_{i=1}^{50} \frac{1}{i^3}; \quad 3) \sum_{i=1}^{10} \frac{1}{i!}; \quad 4) \sum_{i=1}^{128} \frac{1}{(2i)^2}.$$

28. В окружность радиуса  $R$  вписан квадрат. Последовательным удвоением числа сторон многоугольника получен правильный вписанный в окружность 128-угольник. Определить его периметр, если сторона многоугольника при удвоении определяется по формуле

$$a_{2N} = \sqrt{2R^2 - 2R\sqrt{a_N^2/4}}.$$

29. Даны натуральные числа  $m$  и  $n$ . Найти такие натуральные  $p$  и  $q$ , не имеющие общих делителей, что  $p/q = m/n$ .

30. Дано целое  $n > 2$ . Напечатать простые числа из диапазона  $[2, n]$ .

31. Вычислить

$$S = \int_a^b f(x) dx = \int_0^{1,8} \frac{e^x}{\sqrt{1+x+0,4x^2}} dx$$

по формуле правых прямоугольников с разбиением на  $N$  частей:

$$S \approx h \sum_{i=1}^N f(x_i), \quad h = \frac{b-a}{N}, \quad x_i = a + ih.$$

32. Вычислить

$$S = \int_a^b f(x) dx = \int_0^{1,8} \sqrt{1+x^2+0,4} \sin(x) dx$$

по формуле левых прямоугольников с разбиением на  $N$  частей:

$$S \approx h \sum_{i=0}^{N-1} f(x_i), \quad h = \frac{b-a}{N}, \quad x_i = a + ih.$$

33. Вычислить

$$S = \int_a^b f(x) dx = \int_0^{1,8} \lg \sqrt{1 + 0,2x + x^2} dx$$

по формуле средних прямоугольников с разбиением на  $N$  частей:

$$S \approx h \sum_{i=1}^N f(x_i), \quad h = \frac{b-a}{N}, \quad x_i = a + ih - \frac{h}{2}.$$

34. Даны натуральные числа  $m, n$ . Получить сумму  $m$  последних цифр числа  $n$ .

35. Дано натуральное число  $n$ . Проверить, является ли оно совершенным (число называется совершенным, если оно равно сумме всех своих делителей).

36. Получить таблицу температур по Цельсию от 0 до 100 градусов и их эквивалентов по шкале Фаренгейта, используя формулу перевода

$$t_F = \frac{9}{5} t_C + 32.$$

37. Вычислить

$$\sum_{i=1}^{30} (a_i - b_i)^2,$$

где

$$a_i = \begin{cases} i & \text{при } i \text{ нечетном,} \\ i/2 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$b_i = \begin{cases} i^2 & \text{при } i \text{ нечетном,} \\ i^3 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

## 5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАССИВОВ

**Массив** – это упорядоченная последовательность фиксированного количества данных одного типа, имеющая общее имя. Сами эти данные называются элементами массива, а их номера – индексами.

**Размерность массива** – это количество индексов, необходимое для однозначного доступа к элементу массива. Количество используемых индексов массива может быть различным. Массивы с одним индексом называют одномерными, с двумя – двумерными и т. д. Одномерный массив (колонка, столбец) в математике нестрого соответствует вектору, двумерный – матрице.

Чтобы обратиться к элементу массива, надо указать: имя массива (общее имя всего набора величин) и индекс (номер) элемента.

Обработка массивов в программах производится покомпонентно. Для этого используется цикл со счетчиком, где параметр цикла совпадает с номером обрабатываемого элемента массива.

### Пример типовой задачи

Задан массив  $A$  из  $n$  целых чисел. Найти сумму положительных элементов этого массива.

#### Блок-схема алгоритма

Приведена на рис. 6.

#### Текст программы на языке Паскаль

```
program prim6;
const n = 10;
var A: array [1..n] of integer;
 i, S: integer;
begin
```

```

writeln('введите', n, 'элементов массива');
for i := 1 to n do readln(A[i]);
S := 0;
for i := 1 to n do
 if A[i] > 0 then S := S + A[i];
writeln('S=', S);
end.

```

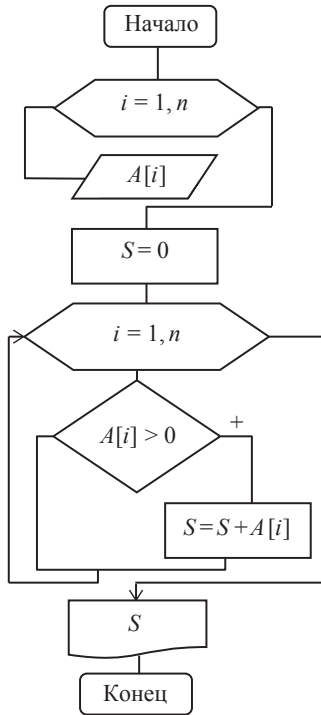


Рис. 6. Блок-схема алгоритма обработки одномерного массива

### Текст программы на языке C#

```

using System;
namespace ConsoleApplication24
{
 class Program
 {

```

```

static void Main(string[] args)
{
 const int n = 10;
 Console.WriteLine("Введите {0} элементов массива:",
n);
 int[] A = new int[n];
 for(int i = 0; i < n; ++i)
 A[i] = int.Parse(Console.ReadLine());
 int S = 0;
 for(int i = 0; i < n; ++i) {
 if (A[i] > 0)
 S += A[i];
 }
 Console.WriteLine("S={0}", S);
 Console.ReadLine();
}
}
}

```

## Задачи

1. Задан массив  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Найти суммы положительных, отрицательных элементов массива и их количество.

2. Задан массив оценок, полученных студентами одной группы за экзамен. Найти:

- 1) количество пятерок, четверок, троек, двоек;
- 2) процент успеваемости группы;
- 3) процент повышенных оценок.

3. Задан массив из  $N$  натуральных чисел. Найти среднее арифметическое и среднее геометрическое нечетных чисел.

4. Ввести массив  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ . Просматривая его элементы слева направо, заменить в нем каждый нулевой элемент полусуммой последующего и предыдущего. Если  $a_1 = 0$ , заменить его на  $a_2$ , если  $a_n = 0$ , заменить его на  $a_{n-1}$ .

5. Определить количество перемен знака у элементов заданного массива из  $M$  элементов.

6. Заменить на единицу минимальный по абсолютной величине элемент заданного массива  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Если минимальных компонентов несколько, заменить их все.



7. Задан массив  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Вычислить элементы нового массива  $Y$  по правилу:

$$y_i = \sum_{j=i}^n |x_j|, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

8. Задан целочисленный массив из 150 элементов. Выделить в отдельный массив все его элементы, кратные 5.

9. На прямой в порядке возрастания заданы координаты  $n$  точек:  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Найти наибольшее расстояние между соседними точками, напечатать номера этих точек.

10. Даны натуральные числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Определить произведение членов последовательности, являющихся нечетными числами.

11. Задан массив  $A$  из  $n$  элементов и вещественное число  $c$ . Переписать в новый массив  $B$  все элементы из  $A$ , которые больше  $c$ .

12. Даны натуральные числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Найти наименьшее из четных чисел, входящих в последовательность  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

13. Задана последовательность из  $n$  целых чисел и целое число  $p$ . Найти сумму элементов, кратных  $p$ .

14. Даны целые числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (в этой последовательности могут быть повторяющиеся члены). Получить все числа, которые входят в последовательность по одному разу.

15. Даны натуральные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (все числа попарно различны). Поменять в этой последовательности наибольший и наименьший члены.

16. Даны целые  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Получить новую последовательность, которая отличается от исходной тем, что все нечетные члены удвоены.

17. Даны целые  $a, x_1, x_2, \dots, x_n$ . Определить, каким по счету идет в последовательности  $x_1, x_2, \dots, x_n$  член, равный  $a$ . Если такого члена нет, то ответом должно быть число 0.

18. Найдите число ненулевых элементов в заданном целочисленном массиве  $A$ , состоящем из  $N$  элементов.

19. Составить программу, дающую ответ «да» или «нет» в зависимости от того, встречается ли число 7 в заданном целочисленном массиве  $A$ , состоящем из  $N$  элементов.

20. Дан массив вещественных чисел  $A$  из  $N$  элементов. Найдите количество элементов, больших среднего арифметического всех элементов массива.

21. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Подсчитайте, сколько раз встречается в этом массиве максимальное по величине число.

22. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Проверьте, есть ли в нем элементы, равные нулю. Если есть, найдите номер первого из них, т. е. наименьшее  $i$ , при котором элемент  $a_i = 0$ .

23. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Подсчитайте наибольшее число одинаковых элементов, идущих в нем подряд.

24. Подсчитайте количество различных чисел, встречающихся в массиве целых чисел  $A$  из  $N$  элементов. Повторяющиеся числа учитывайте только один раз.

25. Дан массив целых чисел  $A$  из  $N$  элементов. Составить программу для построения массива, в котором все отрицательные элементы массива  $A$  предшествуют всем неотрицательным.

26. Даны целочисленные массивы  $A$  и  $B$ , состоящие из  $N$  элементов, причем  $a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_N$  и  $b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_N$ . Постройте массив целых чисел  $C$ , содержащий все элементы массивов  $A$  и  $B$ , в котором  $c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_{2N}$ .

27. Даны три целочисленных массива  $A$ ,  $B$  и  $C$ , каждый из которых состоит из  $N$  элементов. Известно, что существуют целые числа, встречающиеся во всех трех массивах. Найдите одно из таких чисел.

28. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Составить программу, которая упорядочивает его элементы по возрастанию.

29. Организовать поиск в массиве  $A$  из  $N$  целых чисел элемента, равного заданному числу  $x$  (найти номер  $i$  первого вхождения числа  $x$  в массив).

30. Задан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Найти максимальный элемент. Построить массив  $B$ :

$$b_i = \begin{cases} 0, & 1 \leq i \leq i_{\max}, \\ 2a_i, & i_{\max} < i \leq N, \end{cases}$$

где  $i_{\max}$  – номер первого входящего в массив максимального элемента.

31. Дан массив  $A$  из  $N$  элементов. Найти массив  $B$  из  $N$  элементов, где

$$1) b_i = \frac{a_i}{1 + (a_1 + a_2 + \dots + a_i)^2}, \quad i = 1, \dots, N;$$

$$2) b_1 = a_1, \quad b_N = a_N, \quad b_i = \frac{a_{i+1} - a_i}{3}, \quad i = 2, \dots, N-1.$$

32. Пусть  $x_1 = y_1 = 1, x_2 = y_2 = 2,$

$$x_i = \frac{y_{i-1} - y_{i-2}}{i}, \quad y_i = \frac{x_{i-1}^2 + x_{i-2} + y_{i-1}}{i!}, \quad i = 3, 4, \dots$$

Получить

$$1) x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{25}, y_{25};$$

$$2) y_1/2, y_2/3, \dots, y_{25}/26.$$

33. Вычислить

$$\sum_{i=1}^{30} (a_i - b_i)^2,$$

где

$$a_i = \begin{cases} i & \text{при } i = 2n - 1, \\ i/2 & \text{при } i = 2n; \end{cases} \quad b_i = \begin{cases} i^2 & \text{при } i = 2n - 1, \\ i^3 & \text{при } i = 2n; \end{cases} \quad n = 1, \dots, 15.$$

34. Даны два массива  $A$  и  $B$ . Каждый массив состоит из  $N$  элементов. Посчитать количество тех элементов массива, для которых:

1)  $a_i > b_i$ ;

2)  $a_i = b_i$ ;

3)  $a_i < b_i$ .

35. Дана последовательность из 100 целых чисел. Определить количество чисел в наиболее длинной подпоследовательности из подряд идущих нулей.

36. Дано 200 вещественных чисел. Определить, сколько из них больше своих «соседей», т. е. предыдущего и последующего числа.

37. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов и натуральное число  $k < N$ . Определить номер и значение минимального из последних  $k$  элементов массива  $A$ .

38. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов и число натуральное  $k < N$ . Определить номер и значение максимального из первых  $k$  элементов массива  $A$ .

39. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов и число натуральное  $k \leq N$ . Исключить из массива  $A$  элемент с номером  $k$ .

40. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Определить номер и значение максимального из четных элементов этого массива.

41. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Определить номер и значение максимального из нечетных элементов этого массива.

42. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Определить номер и значение минимального из элементов этого массива, кратных 5.

43. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Упорядочить его по убыванию.

44. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Упорядочить его по убыванию количества цифр в записи каждого элемента.

45. Дан целочисленный массив  $A$  из  $N$  элементов. Упорядочить его по возрастанию первой цифры в записи каждого элемента.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Е. Р.* Free Pascal и Lazarus. Учебник по программированию / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. В. Кучера. – М. : ALT Linux, 2010. – 438 с.
- Задачи по программированию* / С. А. Абрамов, Г. Г. Гнездилова, Е. Н. Капустина, М. И. Селюн. – М. : Наука, 1988. – 224 с.
- Коврижных А. Ю.* Информатика. Основы программирования на Паскале. Курс лекций : учеб. пособие / А. Ю. Коврижных, Е. А. Конончук, Г. Е. Лузина. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2001. – 30 с.
- Колдаев В. Д.* Основы алгоритмизации и программирования : учеб. пособие / В. Д. Колдаев ; под ред. проф. Л. Г. Гагариной. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2006. – 416 с.
- Некрасов В. П.* Основы алгоритмизации : учеб. пособие / В. П. Некрасов, Е. А. Конончук. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ин-та экономики, управления и права, 2010. – 118 с.
- Немнюгин С. А.* Turbo Pascal : практикум : учеб. пособие для вузов / С. А. Немнюгин. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2007. – 268 с.
- Немнюгин С. А.* Turbo Pascal. Программирование на языке высокого уровня : учеб. для вузов / С. А. Немнюгин. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2007. – 544 с.
- Окулов С. М.* Основы программирования : учебник / С. М. Окулов. – 5-е изд., испр. – М. : БИНОМ ; Лаборатория знаний, 2010. – 440 с.
- Павловская Т. А.* C#. Программирование на языке высокого уровня : учеб. для вузов / Т. А. Павловская. – СПб. : Питер Пресс, 2009. – 432 с.
- Пильщиков В. Н.* Сборник упражнений по языку Паскаль : учеб. пособие для вузов / В. Н. Пильщиков. – М. : Наука, 1989. – 160 с.
- Фаронов В. В.* Turbo Pascal 7.0. Практика программирования : учеб. пособие / В. В. Фаронов. – М. : КНОРУС, 2012. – 414 с.
- Фаронов В. В.* Программирование на языке C#. Учебный курс / В. В. Фаронов. – СПб. : Питер, 2007. – 240 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| От авторов.....                                            | 3  |
| Введение .....                                             | 5  |
| 1. Программирование линейных алгоритмов.....               | 7  |
| 2. Программирование разветвлений.....                      | 14 |
| 3. Программирование итерационных циклов.....               | 23 |
| 4. Программирование циклов со счетчиком .....              | 35 |
| 5. Программирование циклов с использованием массивов ..... | 43 |
| Список рекомендуемой литературы .....                      | 50 |

Учебное издание

Коврижных Антон Юрьевич  
Конончук Екатерина Александровна  
Лузина Галина Евгеньевна

## ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Практикум  
В двух частях

### Часть 1. Задачи и упражнения

Заведующий редакцией *М. А. Овечкина*  
Редактор *Е. И. Маркина*  
Корректор *Е. И. Маркина*  
Компьютерная верстка *Н. Ю. Михайлов*

План выпуска 2016 г. Подписано в печать 19.12.2016.  
Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Times.  
Уч.-изд. л. 2,5. Усл. печ. л. 3,0. Тираж 100 экз. Заказ № 367.

Издательство Уральского университета  
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ.  
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.  
Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13.  
Факс: +7 (343) 358-93-06.  
E-mail: [press-urfu@mail.ru](mailto:press-urfu@mail.ru)





**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**И.А. Хахаев**

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ  
И СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
В ТАМОЖЕННОМ ДЕЛЕ**

**Учебное пособие**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2015**

Хахаев И.А. Вычислительные машины, сети и системы телекоммуникаций в таможенном деле: учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 86 с.

В пособии рассматриваются базовые понятия вычислительных систем и сетей телекоммуникаций, а также современные технологии организации вычислительных систем (в том числе высокопроизводительных) и особенности их использования в Единой Автоматизированной Информационной системе (ЕАИС) ФТС России. Пособие акцентирует внимание на отдельных существенных аспектах дисциплины и не заменяет основную учебную литературу по курсу. После учебно-информационных разделов издания предлагаются задания для самостоятельной работы.

Пособие подготовлено на кафедре «Таможенного дела и логистики».

Учебное пособие разработано в соответствии с программой дисциплины «Вычислительные машины, сети и системы телекоммуникаций в таможенном деле» и предназначено для студентов, обучающихся по специальности 38.05.02 (036401) «Таможенное дело», для использования при подготовке семинарских занятий, курсовых проектов, отчетов по практике, дипломных работ.

Рекомендовано к печати Учёным советом факультета «ИМБИП», протокол № 8 от 14.04.2015г.

**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2015

© Хахаев И.А., 2015

## Содержание

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                     | 5  |
| Логические основы построения вычислительных систем.....           | 5  |
| Высказывания. Истинность повествовательных предложений.....       | 5  |
| Логические переменные и функции.....                              | 5  |
| Основные логические функции.....                                  | 6  |
| Таблицы истинности.....                                           | 6  |
| Сложные функции и порядок действий.....                           | 7  |
| Законы логики.....                                                | 8  |
| Теоремы логики (Булевы теоремы).....                              | 8  |
| Реализация логики в вычислительных системах.....                  | 9  |
| Задания для самостоятельной работы.....                           | 16 |
| Основные сведения о вычислительных машинах и системах.....        | 16 |
| Основные определения.....                                         | 16 |
| Принципы организации (архитектуры) вычислительных систем.....     | 17 |
| Модель представления данных в ЭВМ.....                            | 19 |
| Ячейки и регистры памяти.....                                     | 19 |
| Карта памяти.....                                                 | 19 |
| Представление чисел и символов в ЭВМ.....                         | 21 |
| Представление символов (букв). Кодировочные таблицы (кодировки).. | 22 |
| Типы данных и их особенности.....                                 | 23 |
| Задания для самостоятельной работы.....                           | 26 |
| Многоуровневая организация ВМ.....                                | 26 |
| Варианты разделения на уровни.....                                | 26 |
| Языки программирования.....                                       | 26 |
| Вычислительная система как открытая система.....                  | 28 |
| Понятие открытой системы.....                                     | 28 |
| Спецификации POSIX.....                                           | 28 |
| Модель OSI/RM.....                                                | 29 |
| Протоколы и интерфейсы.....                                       | 30 |
| Разделение ресурсов вычислительных систем.....                    | 31 |
| Аппаратные средства ЭВМ: основные устройства.....                 | 31 |
| Облачные вычисления.....                                          | 35 |
| Задания для самостоятельной работы.....                           | 37 |
| Операционные системы.....                                         | 38 |
| Многозадачность в операционных системах.....                      | 40 |
| Задания для самостоятельной работы.....                           | 40 |
| Внешняя память и файловые системы.....                            | 41 |
| Лицензирование операционных систем.....                           | 44 |
| Обеспечение производительности и надежности вычислительных систем | 48 |
| Понятие производительности.....                                   | 48 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Оценки производительности.....               | 48 |
| Факторы, влияющие на производительность..... | 49 |
| Тесты SPEC.....                              | 49 |
| Кластерные технологии.....                   | 49 |
| Состав кластера.....                         | 50 |
| Задания для самостоятельной работы.....      | 57 |
| Компьютерные сети.....                       | 58 |
| Понятие, назначение, состав.....             | 58 |
| Топологии компьютерных сетей.....            | 58 |
| Серверы сети.....                            | 61 |
| Авторизация пользователей сети.....          | 62 |
| Адресация в компьютерных сетях.....          | 63 |
| Глобальная логическая адресация DNS.....     | 67 |
| Прикладной уровень TCP/IP.....               | 70 |
| Магистральные сети коммуникаций.....         | 73 |
| Оборудование для организации сетей.....      | 75 |
| Задания для самостоятельной работы.....      | 77 |
| Беспроводные сети.....                       | 79 |
| Задания для самостоятельной работы.....      | 81 |
| Пример оснащения таможни.....                | 82 |
| Литература.....                              | 83 |

# Введение

Данное учебно-методическое издание предназначено для студентов специальности 38.05.02 (036401) «Таможенное дело» в качестве базового пособия по теоретической части курса. Оно акцентирует внимание на отдельных существенных аспектах дисциплины и не заменяет основную учебную литературу по курсу «Вычислительные машины, сети и системы телекоммуникаций в таможенном деле».

Материал, изложенный в пособии, подразумевает наличие знаний, полученных в ходе изучения дисциплины «Информатика».

В пособии раскрываются основы организации вычислительных машин и систем, компьютерных сетей и вычислительных комплексов с повышенной надёжностью и производительностью. Также обращается внимание на особенности применения вычислительных систем и сетей телекоммуникаций в Единой автоматизированной информационной систем таможенных органов (ЕАИС ТО). Материал излагается в тезисной (конспективной) форме и является основой для дальнейшей проработки на семинарских занятиях и в ходе самостоятельной работы.

## Логические основы построения вычислительных систем

### Высказывания. Истинность повествовательных предложений

**Высказывание** – основной объект математической логики.

Высказыванием называется повествовательное предложение (утверждение), которое может быть **истинным** или **ложным**.

Примеры высказываний:

- «Идёт дождь»
- «Вася Пупкин – девочка»

Истинность или ложность высказывания – **логическая переменная**.

### Логические переменные и функции

Значение логической переменной «истина» обозначается как (логическая) 1, «ложь» – как (логический) 0.

Другие обозначения: «Истина» – t или T (true), «Ложь» – f или F (false).

Логические переменные могут обозначаться по-разному: A, B, C ... или  $X_1, X_2 \dots$ .

**Логическая функция** – операция с логическими переменными (одной или несколькими).

Результат логической функции – тоже логическая переменная.

## Основные логические функции

- **Логические константы.** True(A,B) – всегда «истина», False(A,B) – всегда «ложь».

- **Отрицание.** Обозначается  $\neg A$  или  $\bar{A}$  ( $B = \neg A$ ) (логическое НЕ). Логическая переменная принимает противоположное значение.

- **Дизъюнкция.**  $C = A \vee B$  или  $C = A \cup B$  (логическое ИЛИ). Принимает значение «истина», когда хотя бы одно из высказываний (один из аргументов функции) – «истина».

- **Конъюнкция.**  $C = A \wedge B$  или  $C = A \cap B$  (логическое И, &). Принимает значение «истина», когда все высказывания (все аргументы функции) – «истина».

## Импликация и эквиваленция

Импликативное высказывание: если A то B ( $A \Rightarrow B$ ).

Иначе говоря, «A влечёт B», «B при условии, что A», где A – предпосылка, B – следствие.

Импликация принимает значение «ложь», когда A – «истина», а B – «ложь». Во всех остальных случаях импликация имеет значение «истина».

Эквивалентные высказывания: A тогда и только тогда, когда B ( $A \Leftrightarrow B$ ).

Иначе говоря, «если A, то B, и если B, то A», «A есть необходимое и достаточное условие для B».

Эквиваленция принимает значение «истина», когда A и B имеют одинаковые значения. Во всех остальных случаях эквиваленция имеет значение «ложь».

## Таблицы истинности

**Таблица истинности** – способ определения логической функции. Ниже приведена таблица истинности основных логических функций.

| A | B | $\neg A$ | $A \vee B$ | $A \wedge B$ | $A \Rightarrow B$ | $A \Leftrightarrow B$ |
|---|---|----------|------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 0 | 0 | 1        | 0          | 0            | 1                 | 1                     |
| 0 | 1 | 1        | 1          | 0            | 1                 | 0                     |
| 1 | 0 | 0        | 1          | 0            | 0                 | 0                     |
| 1 | 1 | 0        | 1          | 1            | 1                 | 1                     |

## Сложные функции и порядок действий

Сложная функция строится из основных. Таблица истинности создаётся с учётом порядка действий. Для изменения порядка действия при необходимости используются скобки.

Порядок действий (приоритет операций):

1. Отрицание
2. Дизъюнкция и конъюнкция
3. Импликация
4. Эквиваленция.

При определении значений сложной логической функции необходимо построить таблицу истинности в соответствии с приоритетом операций при всех возможных комбинациях значений аргументов.

Для примера рассмотрим функцию

$$F(A, B, C) = (A \vee B) \wedge (B \Rightarrow \neg C) .$$

Данную функцию можно представить как  $F = F1 \wedge F2$ , где  $F1 = A \vee B$ , а  $F2 = B \Rightarrow \neg C$ .

Следовательно, при определении таблицы истинности для функции F следует сначала определить значения функций F1 и F2, а затем применить к этим значениям логическую операцию конъюнкции.

Результат показан в следующей таблице.

| A | B | C | $F1 = A \vee B$ | $F2 = B \Rightarrow \neg C$ | $F = F1 \wedge F2$ |
|---|---|---|-----------------|-----------------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0               | 1                           | 0                  |
| 0 | 0 | 1 | 0               | 1                           | 0                  |
| 0 | 1 | 0 | 1               | 1                           | 1                  |
| 0 | 1 | 1 | 1               | 0                           | 0                  |
| 1 | 0 | 0 | 1               | 1                           | 1                  |
| 1 | 0 | 1 | 1               | 1                           | 1                  |
| 1 | 1 | 0 | 1               | 1                           | 1                  |
| 1 | 1 | 1 | 1               | 0                           | 0                  |

Часто используется логическая операция *сумма по модулю 2*, иначе – **исключающее ИЛИ (XOR)**. Ниже показана таблица истинности для XOR

| A | B | XOR(A,B) |
|---|---|----------|
| 0 | 0 | 0        |
| 0 | 1 | 1        |
| 1 | 0 | 1        |
| 1 | 1 | 0        |

## Законы логики

Высказывание, истинное при любых значениях его компонентов, называется **тождественно истинным** или **тавтологией**.

Высказывание, ложное при любых значениях его компонентов, называется **тождественно ложным** или **противоречием**.

Основные законы формальной логики в кратких формулировках и формальной записи приведены в следующей таблице.

|    | Название                    | Пример формулировки                                                             | Формальная запись                                                            |
|----|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Закон исключённого третьего | Истинным может быть либо высказывание «А», либо его противоположность           | $A \vee \neg A$                                                              |
| 2. | Закон противоречия          | Высказывание и его отрицание не могут быть одновременно истинными               | $\neg(A \wedge \neg A)$                                                      |
| 3. | Закон силлогизма            | Если первое влечет второе, и если второе влечет третье, то первое влечет третье | $[(A \Rightarrow B) \wedge (B \Rightarrow C)] \Rightarrow (A \Rightarrow C)$ |
| 4. | Закон двойного отрицания    | Если неверно, что неверно «А», то «А» - верно                                   | $A \Leftrightarrow \neg(\neg A)$                                             |
| 5. | Закон контрапозиции         | Если первое влечет второе, то отрицание второго влечет отрицание первого        | $(A \Rightarrow B) \Leftrightarrow (\neg B \Rightarrow \neg A)$              |

## Теоремы логики (Булевы теоремы)

При формальной записи основных логических теорем в качестве логических переменных будем использовать алгебраические обозначения (х, у и т.п.), а в качестве обозначений логических операций будем использовать символы сложения для дизъюнкции, умножения для конъюнкции и инверсии для отрицания.

В такой системе обозначений приведем формулировки основных логических теорем (без доказательств).

### Теоремы для одной переменной

- $x \cdot 0 = 0$



2.  $x \cdot 1 = x$
3.  $x \cdot x = x$
4.  $x \cdot \bar{x} = 0$
5.  $x + 0 = x$
6.  $x + 1 = 1$
7.  $x + x = x$
8.  $x + \bar{x} = 1$

### Теоремы для нескольких переменных

1. Коммутативность:  $x + y = y + x$  ;  $x \cdot y = y \cdot x$
2. Ассоциативность:  $x + (y + z) = (x + y) + z = x + y + z$  ;  
 $x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z = x \cdot y \cdot z$
3. Дистрибутивность:  $x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$  ;  
 $(w + x) \cdot (y + z) = w \cdot y + w \cdot z + x \cdot y + x \cdot z$
4.  $x + x \cdot y = x$
5.  $x + \bar{x} \cdot y = x + y$  ;  $\bar{x} + x \cdot y = \bar{x} + y$

### Теоремы де Моргана

1.  $\overline{(x + y)} = \bar{x} \cdot \bar{y}$
2.  $\overline{(x \cdot y)} = \bar{x} + \bar{y}$

## Реализация логики в вычислительных системах

### Построение логических схем

Сочетание математической логики и возможностей проводить вычисления в двоичной системе исчисления привело к возможности конструирования логических и вычислительных устройств на основе двух устойчивых состояний.

Дело в том, что **0** и **1** в логике не просто цифры, а обозначение состояний какого-то предмета нашего мира, условно называемых «ложь» и «истина». Таким предметом, имеющим два фиксированных состояния, может быть **электрический сигнал**. Устройства, фиксирующие два устойчивых состояния, называются бистабильными (например, выключатель, реле).

Наличие возможности переключения состояния электрического сигнала с помощью другого электрического сигнала как раз и явилось основной предпосылкой развития современной компьютерной техники.

Первые вычислительные машины были релейными.

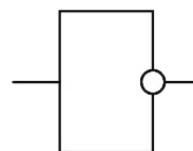
Затем электромеханические переключатели были заменены электронными переключателями – электронными лампами и полупроводниковыми транзисторами.

Позднее были созданы новые устройства управления электрическими сигналами – электронные схемы, состоящие из набора полупроводниковых элементов. Такие электронные схемы, которые преобразовывают сигналы только двух фиксированных напряжений электрического тока (бистабильные), стали называть **логическими элементами**.

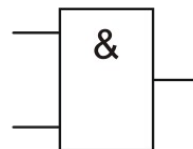
### Элементарные устройства логических схем

Логические элементы имеют один или несколько входов и один выход, через которые проходят электрические сигналы, обозначаемые условно как 0 при отсутствии электрического сигнала, и как 1 при наличии электрического сигнала.

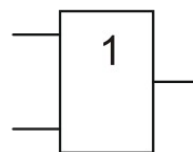
Простейшим логическим элементом является **инвертор**, выполняющий *функцию отрицания*. Если на вход поступает сигнал, соответствующий 1, то на выходе будет 0. И наоборот. У этого элемента один вход и один выход.



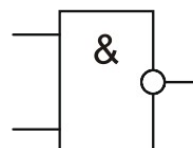
Логический элемент, выполняющий *логическое умножение*, называется **конъюнктор**. Он имеет, как минимум, два входа.



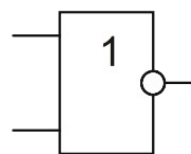
Логический элемент, выполняющий *логическое сложение*, называется **дизъюнктор**. Он имеет, как минимум, два входа.



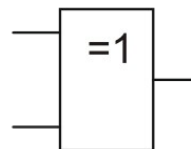
Логический элемент **И-НЕ** состоит из конъюнктора и инвертора.



Логический элемент **ИЛИ-НЕ** состоит из дизъюнктора и инвертора



Логический элемент **исключающее ИЛИ (XOR)**.



Логические элементы реализуются на комплементарных полевых транзисторах, сделанных по технологии «металл-окисел-полупроводник» или «металл-диэлектрик-полупроводник» (КМОП-транзисторы или КМДП-транзисторы). Комплементарными транзисторы называются потому, что они изготавливаются парами из транзисторов р-типа и n-типа.

Ниже приведены схемы основных логических элементов на КМОП-(КМДП)-транзисторах.

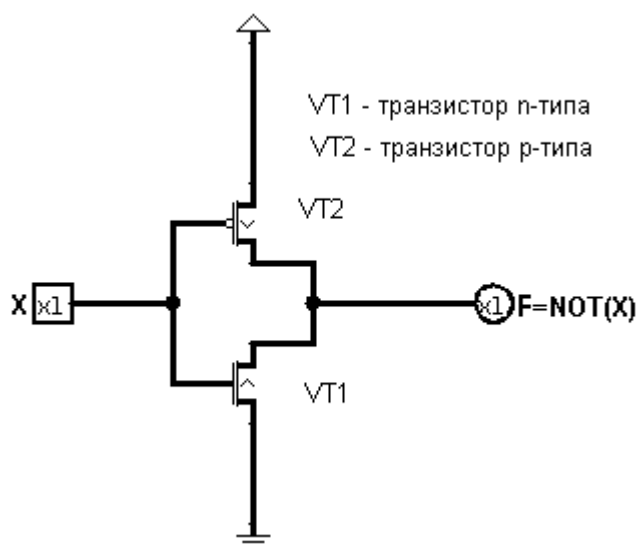


Рис. 1. Инвертор (логический элемент «НЕ») на комплементарной паре транзисторов

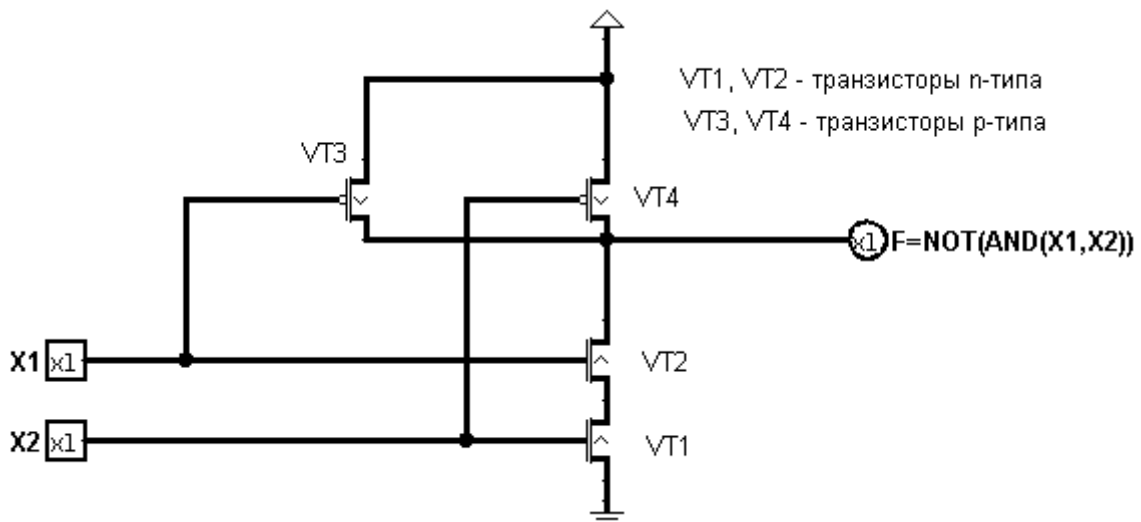


Рис. 2. Логический элемент «И-НЕ» на комплементарных парах транзисторов

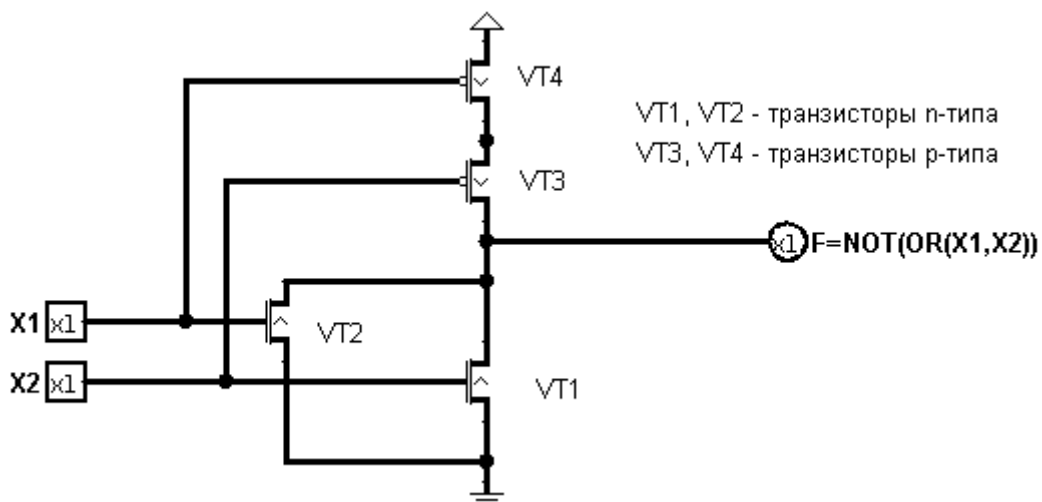


Рис. 3. Логический элемент «ИЛИ-НЕ» на комплементарных парах транзисторов

Для того, чтобы получить логические элементы «И» и «ИЛИ», нужно соединить выход (контакт F) элементов «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ» с входом (контактом X) элемента «НЕ».

Доказано, что любую логическую схему можно реализовать на элементах «И-НЕ» или на элементах «ИЛИ-НЕ». Выбранный тип элементов называют **базисом**. Ниже показана реализация логического элемента «Исключающее ИЛИ» на базисе «И-НЕ».

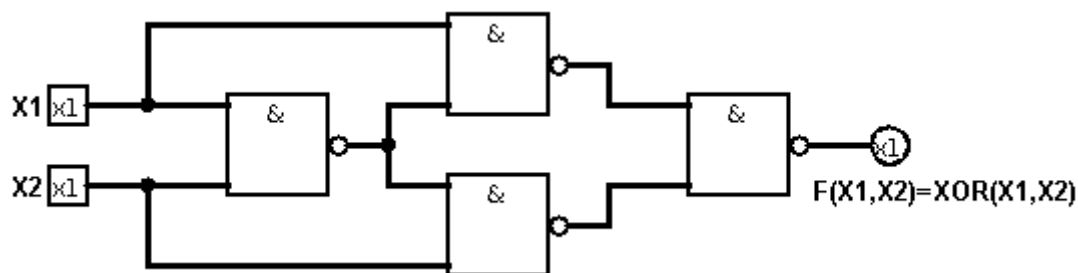


Рис. 4. Логический элемент «XOR» на ,базисе «И-НЕ»

## Моделирование логических схем

Современные программные средства вычислительных систем позволяют моделировать работу логических и цифровых схем. Средства моделирования помогают понять работу таких схем и построить таблицы истинности для сложных логических функций. Для моделирования логических и цифровых схем могут использоваться достаточно простые в понимании и освоении свободные программные пакеты QUCS (сайт проекта <http://qucs.sourceforge.net/>) и Logisim (сайт проекта на русском языке <http://www.cburch.com/logisim/ru/index.html>).

## Логические схемы как основа устройства вычислительной системы

На рис. 5 показана структурная схема простой современной вычислительной машины (компьютера).

Важнейшими элементами компьютера являются **триггеры, полусумматоры, сумматоры, шифраторы, дешифраторы, счетчики, регистры**, которые строятся из логических элементов.

Обработка любой информации на компьютере сводится к выполнению процессором различных арифметических и логических операций. Для этого в состав процессора входит так называемое **арифметико-логическое устройство (АЛУ)**.

**Триггер** – электронная схема, применяемая для хранения значения одного двоичного разряда.

Воздействуя на входы триггера, его переводят в одно из двух возможных состояний (0 или 1). С поступлением сигналов на входы триггера в зависимости от его состояния либо происходит переключение, либо исходное состояние сохраняется. При отсутствии входных сигналов триггер сохраняет свое состояние сколь угодно долго при наличии электропитания.

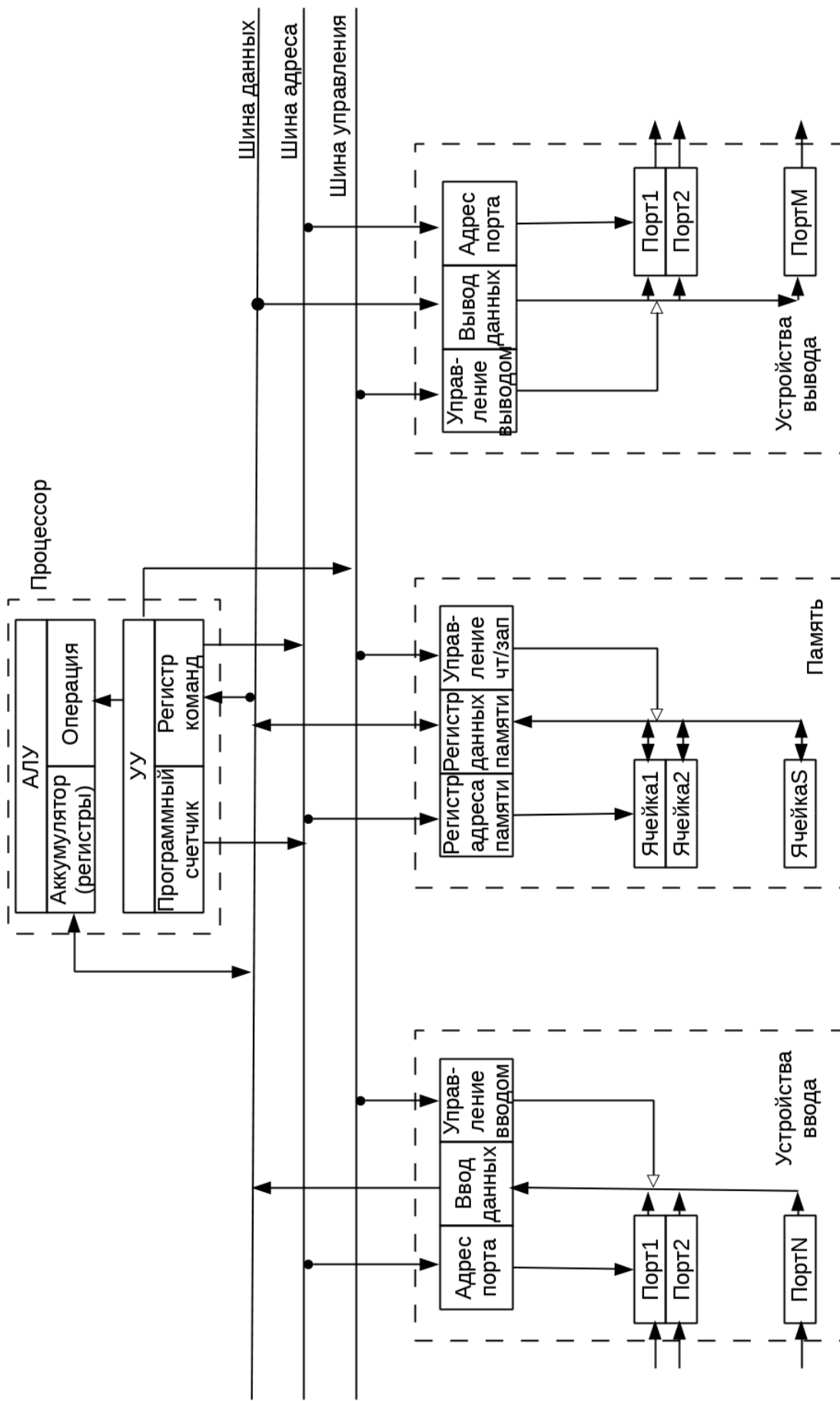


Рис. 5. Структурная схема простого компьютера

Простейший вариант триггера — RS-триггер — показан на рис. 6. Изменение состояния с 0 на 1 на входе S приводит к переводу состояния выхода Q в 1. Это состояние сохраняется в дальнейшем при любых изменениях состояния входа S (выход Q хранит значение 1) до тех пор, пока не изменится состояние входа R с 0 на 1. Тогда состояние выхода Q снова возвращается в 0 (происходит сброс состояния выхода Q). Для повторного перевода выхода Q в 1 необходимо снова установить состояние входа R в 0 и повторить цикл. Вход S называют «Set» (установка), вход R — соответственно, «Reset» (сброс). Состояние второго выхода ( $\bar{Q}$  или NOT(Q)) всегда является инверсией состояния выхода Q.

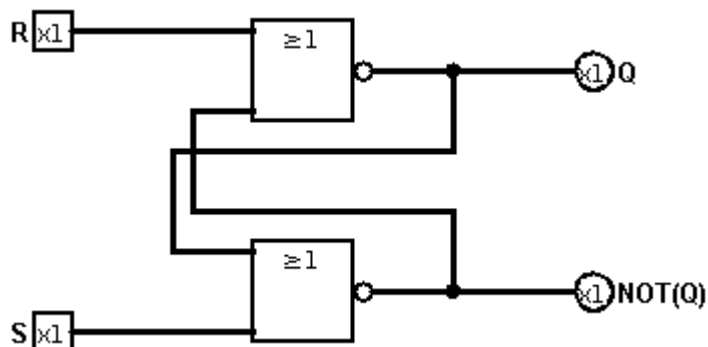


Рис. 6. RS-триггер на базисе «ИЛИ-НЕ»

Таким образом, использование триггеров позволяет организовать **энергозависимую** память. На практике основой такой памяти являются более сложные D-триггеры (рис. 7).

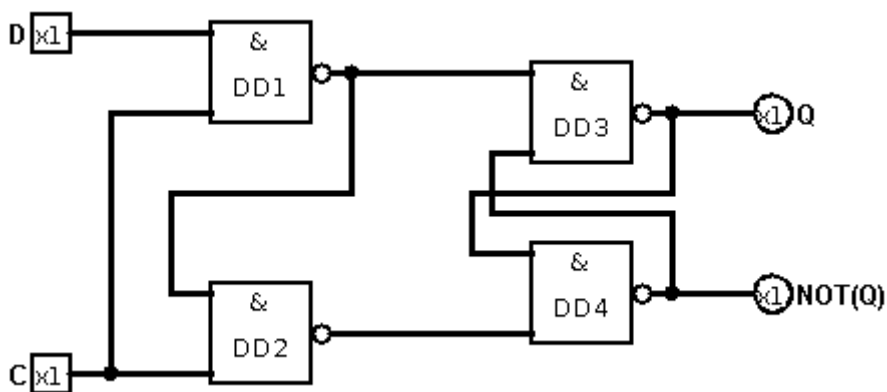


Рис. 7. D-триггер на базисе «И-НЕ»

В D-триггере изменение состояния выхода Q при изменении состояния входа D происходит только тогда, когда на вход C подается сигнал, соответствующий логической единице.

Нужно отметить, что сигнал на выходе триггера может инициировать **изменение состояния** какого-либо материала (носителя информации). Так получается **энергонезависимая память**.

## Задания для самостоятельной работы

Составить таблицы истинности для логических выражений в соответствии с вариантами заданий, а также составить логические схемы на указанных в вариантах заданий базисах

Варианты заданий:

1.  $F(A,B,C) = \text{AND}(\text{OR}(A, B), \text{OR}(\text{NOT}(B), C))$ , базис ИЛИ-НЕ
2.  $F(A,B,C) = \text{AND}(\text{NOT}(A), B, C, \text{NOT}(\text{OR}(A, B)))$ , базис И-НЕ
3.  $F(A,B,C) = \text{OR}(\text{AND}(A, C), \text{AND}(B, \text{NOT}(C)), \text{AND}(\text{NOT}(A), B))$ , базис И-НЕ
4.  $F(A,B,C) = \text{OR}(A, \text{NOT}(\text{AND}(\text{OR}(A, B), C)))$ , базис ИЛИ-НЕ
5.  $F(A,B,C,D) = \text{NOT}(\text{AND}(A, B, \text{NOT}(\text{OR}(C, D))))$ , базис И-НЕ
6.  $F(A,B,C) = \text{AND}(\text{NOT}(A), \text{NOT}(B), C)$ , базис ИЛИ-НЕ
7.  $F(A,B,C,D) = \text{AND}(\text{OR}(A, B), \text{OR}(C, D))$ , базис ИЛИ-НЕ
8.  $F(A,B,C,D) = \text{OR}(\text{AND}(A, B), \text{AND}(C, D))$ , базис И-НЕ
9.  $F(A,B,C) = \text{NOT}(\text{OR}(A, \text{AND}(B, \text{NOT}(C))))$ , базис ИЛИ-НЕ
10.  $F(A,B,C) = \text{AND}(A, B, \text{OR}(C, \text{NOT}(B)))$ , базис И-НЕ.

## Основные сведения о вычислительных машинах и системах

### Основные определения

**Вычислительная машина** – это электронное устройство, предназначенное для автоматического выполнения вычислительных (математических) операций.

**Вычислительная система** – это совокупность одной или нескольких вычислительных машин (компьютеров), *программного обеспечения* и *периферийного оборудования*, предназначенная для реализации информационно-вычислительных процессов.

**Архитектура вычислительной системы** – это логическая организация и структура аппаратных и программных ресурсов вычислительной системы.



**Шина** – это элемент конструкции, обеспечивающий *параллельное* соединение электрических и электронных устройств по проводам (проводникам, токоведущим линиям).

### **Вычислительная машина (компьютер, ЭВМ) как аппаратно-программный комплекс**

Хотя в потребительских качествах компьютера определяющую роль играет **программное обеспечение** (в том смысле, что тот же самый экземпляр компьютера с другими программами может обладать совершенно другими возможностями с позиции пользователя), для этих программ (в первую очередь для **системных**) требуется **среда функционирования**.

Средой функционирования **системных программ** являются **аппаратные средства** компьютера (ЭВМ).

Полностью разделить ПО и АС невозможно, т.к. эффективно работающее ПО использует особенности АС.

Поэтому ЭВМ рассматривается как **комплексная система** оборудования и работающих на этом оборудовании программ.

### **Принципы организации (архитектуры) вычислительных систем**

Вычислительная **система** строится из составных частей – **подсистем** (рис. 8).

- Подсистема выполнения логических и арифметических операций (вычислитель)
- Подсистема хранения программ и данных для вычислителя (память)
- Подсистема формирования программ и данных, отображения результатов вычислений (устройства ввода/вывода)

Принципиально отличаются две архитектуры: **гарвардская** и **принстонская (фон Неймана)**.



Рис. 8. Основные подсистемы вычислительной системы

В гарвардской архитектуре (рис. 9) разделены **память программ** и **память данных**, соответственно, разделены шины **инструкций** и данных. Это устраняет ошибки, связанные с нарушениями **распределения памяти**, но усложняет конструкцию.

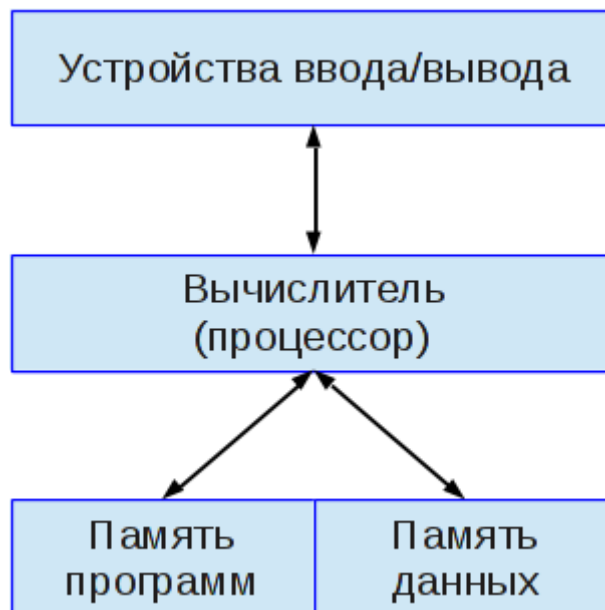


Рис. 9. Общая схема гарвардской архитектуры вычислительной системы

В архитектуре фон Неймана для данных и программ используется общая память (рис. 10). Устройство управления (УУ) и арифметико-логическое устройство (АЛУ) образуют вычислитель, традиционно называемый «Центральное Процессорное Устройство» (Central Processor Unit — CPU).

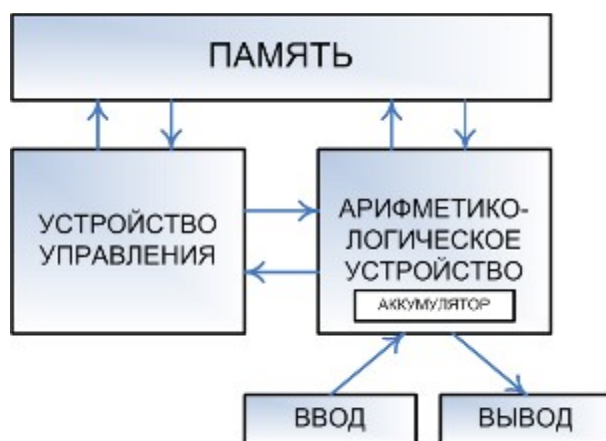


Рис. 10. Общая схема пристонской архитектуры вычислительной системы

Важнейшим принципом организации современных вычислительных машин и систем является **разделение программ и данных**. Следствием этого принципа является свойство **массовости алгоритмов**. При этом обеспечивается нужный уровень абстракции при составлении алгоритмов, когда в алгоритмах используются не конкретные значения, а **переменные**, которые означают данные различных типов.

## Модель представления данных в ЭВМ

### Ячейки и регистры памяти

Все программы и данные, с которыми работает вычислительная система, заносятся в память этой системы.

Память вычислительной системы представляется в виде ячеек, в каждой из которых может содержаться одна из цифр двоичной системы счисления – 0 или 1. Последовательность таких ячеек образует так называемый **регистр**. Длина регистра (количество ячеек) называется **длиной машинного слова** или **разрядностью** и в современных системах может быть **16, 32, 64** или **128** ячеек. Соответственно, существуют понятия **16-, 32-, 64-** или **128-**разрядных вычислительных систем (или архитектур).

Одна цифра двоичного числа соответствует одному биту информации.

Сейчас существует соглашение о том, что 8 бит равны одному байту информации.

### Карта памяти

Память компьютера представляется как **нумерованный набор регистров**, номера регистров называются **адресами памяти** и

записываются в шестнадцатеричном коде (в виде чисел шестнадцатеричной системы счисления).

Количество возможных адресов определяется разрядностью системы и способом указания адресов (адресации).

Пример карты памяти абстрактной 16-ти разрядной системы показан на рис. 11.

Самый правый разряд регистра называется **младшим битом**, самый левый, соответственно – **старшим битом**. Кроме того, выделяют старший и младший байты.

Регистры условно нумеруются снизу вверх, номера регистров записываются в шестнадцатеричной системе.

Для того, чтобы в вычислительной системе можно было различить, какие наборы битов следует интерпретировать как числа, какие – как соответствующие символам (буквам), а какие представляют из себя команды, вводится понятие **типа данных**.

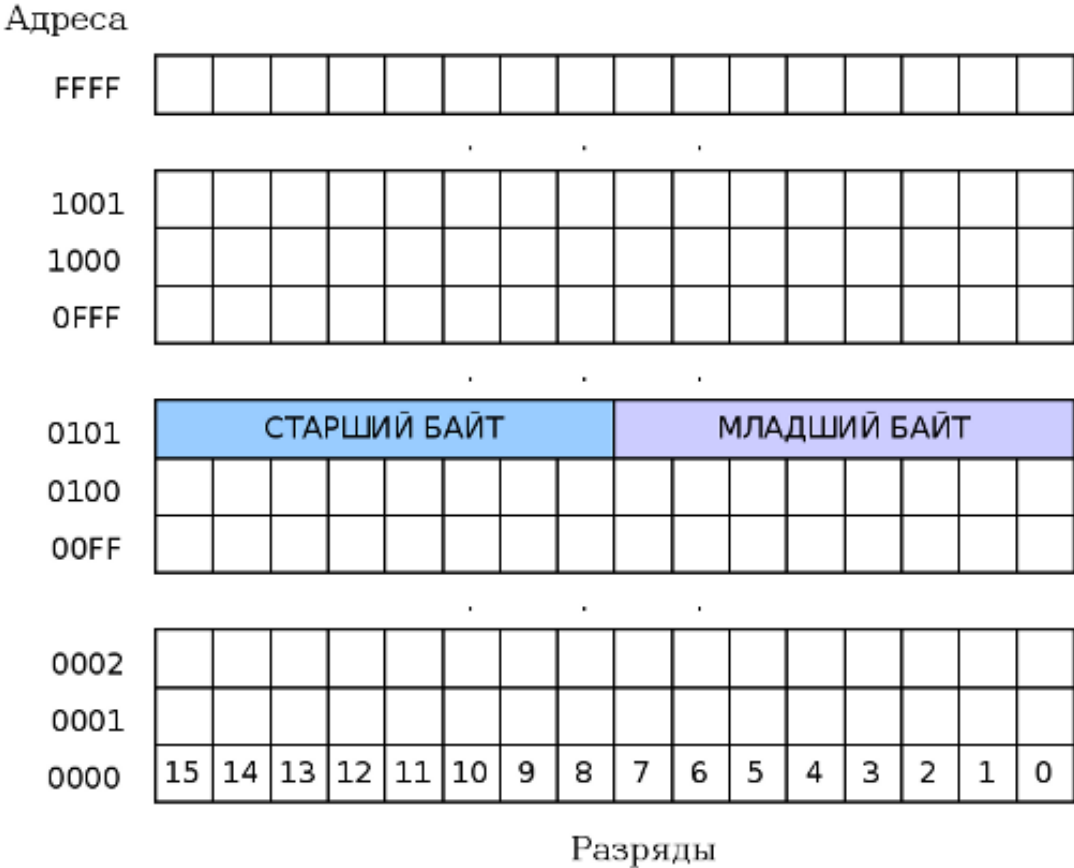


Рис. 11. Карта памяти абстрактной 16-ти разрядной вычислительной системы

# Представление чисел и символов в ЭВМ

## Представление чисел

Самый простой вариант чисел для представления в памяти ЭВМ — натуральные числа.

Натуральное число – это целое положительное число.

Оно занимает полностью весь диапазон разрядов (регистр).

Поэтому возможный диапазон натуральных чисел – от **0** до  $2^N-1$ , где **N** – разрядность системы.

Пример представления числа 123: **0000000001111011**

Представление целых чисел уже несколько сложнее.

Для целых чисел необходимо указывать знак (положительное или отрицательное), поэтому на указание знака отводится один бит – старший бит старшего байта. Установка этого бита в 1 означает отрицательное число.

Остальные **N-1** разрядов обеспечивают представление модуля числа.

Таким образом, диапазон целых чисел в системе с разрядностью **N** – от  $-2^{N-1} + 1$  до  $2^{N-1} - 1$ .

Пример представления числа -123: **1000000001111011**

Еще более сложным является представление вещественных (действительных) чисел (чисел с плавающей точкой)

Для записи вещественного числа необходимо хранить знак, цифры до десятичной точки и цифры после десятичной точки.

Любое вещественное число хранится в приближенном представлении, точность которого ограничена разрядностью системы.

Отсюда следует, что **два вещественных числа никогда не могут быть равны друг другу**, поэтому вещественные числа могут сравниваться только с точностью до некоторой заданной малой величины (например, с точностью до **0.0000001**).

Вещественные числа представляются в виде «**мантисса+порядок**» и требуют двух регистров – один для записи мантиссы как целого числа, а другой – для записи порядка как целого числа (форма с плавающей точкой).

Пример: -123.45 может быть представлено как  $-1.2345 \cdot 10^2$ , где -1.2345 – мантисса, 2 – порядок.

Однако то же самое число может быть представлено как  $-12.345 \cdot 10^1$ . Такое представление называют **ненормализованным**.

**Нормализованное** представление означает, что целая часть равна 0 и первый десятичный знак не равен нулю. Таким образом, для рассматриваемого примера нормализованным представлением будет  $-0.12345 \cdot 10^3$ .

В памяти мантисса и порядок хранятся в виде целых чисел, в младшем регистре — мантисса, в старшем — порядок.

|           |                  |            |
|-----------|------------------|------------|
| Регистр 1 | 0000000000000010 | (Порядок)  |
| Регистр 0 | 1011000000111001 | (Мантисса) |

Поскольку на представление вещественных чисел требуется больше памяти, чем для целых, то вычисления с вещественными числами происходят медленнее, чем с целыми и натуральными.

## Представление символов (букв). Кодировочные таблицы (кодировки).

При нажатии на клавишу в компьютер передается код клавиши, который интерпретируется программой, предназначенной для ввода текста, как номер символа.

Возможное количество символов, а также соответствие номера (кода) символа тому или иному символу, появляющемуся на экране, определяется **кодировочной таблицей**, являющейся составной частью программного обеспечения.

Код символа записывается в память как натуральное число.

В настоящее время распространены кодировочные таблицы, в которых на код символа отводится 8 или 16 разрядов (битов).

Если код символа представляется 8 битами (1 байтом), то всего возможно закодировать 256 различных символов (коды от 0 до  $2^8 - 1 = 255$ ).

Фактическим стандартом кодирования символов является 8-битная таблица **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange). Эта таблица складывается из двух частей – базовой таблицы и расширений.

Базовая таблица - символы с кодами от 0 до 127 – одинакова для всех программ и включает в себя буквы английского алфавита, знаки препинания и ряд специальных значков.

Расширения таблицы ASCII (символы от 128 до 255) предназначены для кодирования символов национальных алфавитов

Поскольку работа по созданию расширений никак не координировалась, для некоторых алфавитов (в частности, для русского) одновременно существует несколько вариантов расширений.

Для русского алфавита распространены расширения, называемые ГОСТ-альтернативная кодировка (DOS 437), кодировка КОИ-8 и кодировка Windows-1251. Их отличие можно проиллюстрировать простыми примерами.

Символ «А» имеет код 128 в кодировке DOS 437, 225 в КОИ-8 и 192 в Windows-1251.

Передача кода 230 приведет к появлению на экране символа «ц» в кодировке DOS 437, символа «Ф» в КОИ-8 и «ж» в Windows-1251.

Идея расширить количество символов в одной кодировочной таблице для упрощения работы привела к созданию системы кодирования UNICODE.

Первоначально UNICODE была 16-разрядной кодировкой ( $2^{16} - 1 = 65535$  символов), что позволяло в одной таблице хранить самые «популярные» национальные алфавиты. Затем пространство кодов было расширено до  $2^{31}$  возможных символов, хотя на практике используется около 110 000 символов.

## Типы данных и их особенности

### Основные типы данных

К основным типам данных относятся **числа** (натуральные, целые и вещественные) и **символы** (буквы).

С числами можно совершать арифметические действия и операции сравнения, а с символами возможна только операция сравнения, причем символы сравниваются в соответствии с их кодами.

### Производные типы

Производные типы данных – строки и даты.

**Строка** – последовательность символов, включая пробелы.

Для резервирования места в памяти для строк может задаваться максимальная длина (т.е. строка может быть не больше заданного количества символов).

**Календарная дата** – три числа (номер дня месяца, номер месяца и номер года), вычисляемые на основе количества секунд, прошедших с момента начала отсчета. В современных системах началу отсчета, как

правило, соответствует 00 часов 00 минут 00 секунд 1 января 1980 года (эра ПК) или 00 часов 00 минут 00 секунд 1 января 1970 года (эра UNIX).

Для дат определены операции сравнения и вычитания (разница – в днях).

При движении по шкале времени от прошлого к будущему значения дат возрастают.

Для строк определены операции сравнения и слияния (конкатенации).

При сравнении строк применяются следующие соглашения:

- Строки сравниваются в алфавитном порядке (порядок следования в словаре, А < Я)
- Длинная строка больше короткой (при одинаковом начале).

**Примеры сравнения строк:**

- «дом» < «домик»
- «президент» < «президиум».

Слияние (конкатенация) строк заключается в том, что следующая строка присоединяется к концу предыдущей. Эта операция условно обозначается знаком «+».

**Пример слияния строк:** «ветер» + «и» + «нары» = «ветеринары».

## **Индексированные типы данных (массивы)**

Индексированные (перечислимые) типы данных (**массивы**) состоят из конечного числа элементов данных одного и того же типа. Конкретное значение элемента определяется его положением (**индексом**) в массиве. Количество индексов называется **размерностью** массива.

**Одномерный массив (вектор):**

ДНИНЕДЕЛИ = (пн, вт, ср, чт, пт, сб, вс)

Элемент массива: ДНИНЕДЕЛИ[5] = пт (если счёт начинается с 1).

**Двумерный массив (матрица):**

$$A = \begin{bmatrix} 1.23 & 2.34 & 3.45 & 4.56 \\ 6.54 & 5.43 & 4.32 & 3.21 \\ 2.31 & 5.64 & 3.42 & 4.35 \end{bmatrix}$$

Элемент массива: A[3,2] = 4.32



## Структурированные типы – записи

Запись состоит из различных типов данных, причем для каждого типа определяется длина (если это необходимо).

Записи используются для хранения в одной структуре данных характеристик какого-либо объекта, если эти характеристики имеют различный тип (числа, строки и т.д.).

Например, объект типа «город» может характеризоваться численностью населения, географическими координатами и названием.

Составим соответствующую запись:

**ГОРОД = запись из**  
**Название: строка длиной 20 символов;**  
**Население: натуральное число;**  
**Широта: вещественное число;**  
**Долгота: вещественное число;**  
**КОНЕЦ**

Различные типы и структуры данных, образующие запись, называются **полями**.

С записями возможны операции выбора по значению поля и сортировки по какому-то полю.

Можно обращаться также к отдельным полям записей и использовать их в вычислениях в соответствии с типами данных в этих полях.

Выражение «ГОРОД.Название = Санкт-Петербург» присваивает конкретное значение полю «Название» в записи ГОРОД.

Если где-то хранится множество записей типа ГОРОД с информацией о различных городах, то можно получить данные по городу, зная его название.

Если «ГОРОД.Название = Санкт-Петербург», можно определить значение поля «ГОРОД.Население».

Записи как структуры данных (Record) впервые были введены в языке программирования PASCAL.

В современных языках программирования они также используются либо в том же самом виде, либо имитируются другими структурами (например, кортежи в Python).

В явном виде записи используются в хранилищах информации, называемых **базами данных**.

## Задания для самостоятельной работы

1. Определить минимальное и максимальное натуральное и целое числа в 16-разрядной вычислительной системе.
2. Определить минимальное и максимальное натуральное и целое числа в 32-разрядной вычислительной системе.
3. Определить объем памяти при прямой адресации в 16-разрядной вычислительной системе.
4. Определить объем памяти при прямой адресации в 32-разрядной вычислительной системе.
5. Вычислите разницу дат 31 августа 2015 и 12 апреля 2010.
6. Объясните причину, по которой рекомендуется указывать длины строк при их описании при составлении программ.

## Многоуровневая организация ВМ

### Варианты разделения на уровни

#### По аппаратным средствам:

- Логические элементы
- Интегральные схемы (большие ИС – БИС и сверхбольшие ИС – СБИС)
- Функциональные узлы (процессор, модули памяти, контроллеры и адаптеры)
- Блоки вычислительной системы (системный блок, монитор, принтер и т. п.).

#### По программным средствам:

- Базовые программы: обеспечивают работу отдельных узлов и возможность работы системных программ
- Системные программы: обеспечивают человеко-машинный интерфейс и работу прикладных программ
- Прикладные программы: обеспечивают решение пользовательских задач.

### Языки программирования

**Программа** – набор инструкций для процессора (АЛУ), обеспечивающий выполнение заданного **алгоритма** с имеющимися **данными**.

**Язык программирования** – способ представления программы человеком.

Программы могут быть представлены графически (в виде блок-схем), в машинных кодах, в кодах ассемблера или на языках программирования высокого уровня.

**Машинные коды** – содержание **регистров команд** процессора и изменение этого содержания на каждом такте работы процессора. Непосредственно связано с **моделью** процессора.

**Ассемблер** – мнемоническая запись (сочетаниями букв – *push*, *pop*, *jump*) операций, выполняемых процессором, с указанием шестнадцатеричных адресов **регистров данных**, с которыми нужно выполнять эти операции.

Ассемблер может применяться для **ряда процессоров** одной архитектуры.

**Языки программирования высокого уровня** – правила создания набора инструкций из человекочитаемых конструкций (*print(a)* или *list.reverse()*).

Программа на ЯП высокого уровня не зависит от конкретной реализации ВМ (процессора, операционной системы и пр.).

Перевод программы с ЯП в машинные коды обеспечивается специальными программами – трансляторами ЯП, которые могут быть реализованы как компиляторы или интерпретаторы.

**Компилятор** – транслятор, переводящий программу в **исполняемый модуль** (машинные коды). Исполняемый модуль может использоваться сам по себе, но только для такой же (или совместимой) реализации ВМ.

**Интерпретатор** – транслятор, обеспечивающий выполнение инструкций из программы без дополнительного преобразования.

Интерпретируемые программы работают всюду при наличии в ВС соответствующего интерпретатора.

Программы на компилируемых ЯП более эффективно используют возможности программно-аппаратной архитектуры ВС, а программы на интерпретируемых ЯП являются переносимыми.

Существует около 3000 ЯП высокого уровня. Это говорит о том, что идеальных ФП не существует и каждый ЯП позволяет решать какие-то классы задач более эффективно, чем другие ЯП, а остальные классы задач – менее эффективно.

# Вычислительная система как открытая система

## Понятие открытой системы

В широком смысле **открытой системой** может быть названа любая система (компьютер, вычислительная сеть, ОС, программный пакет, другие аппаратные и программные продукты), которая построена в соответствии с **открытыми спецификациями**.

**Открытые спецификации** – опубликованные, общедоступные спецификации, соответствующие стандартам и *принятые в результате достижения согласия* после всестороннего обсуждения всеми заинтересованными сторонами.

Использование при разработке систем **открытых спецификаций** позволяет любым заинтересованным лицам и организациям разрабатывать для этих систем различные аппаратные или программные средства расширения и модификации, а также создавать программно-аппаратные комплексы из продуктов разных производителей.

**Открытые спецификации**, зафиксированные в документах и утвержденные авторитетными организациями, являются **стандартами**.

## Спецификации POSIX

Для программных средств на уровне операционных систем и прикладного программного обеспечения открытые спецификации приводят к мобильности (переносимости) ПО с одного набора аппаратных средств (аппаратной архитектуры) на другие архитектуры. Тем самым обеспечивается существенная экономия ресурсов, используемых при разработке ПО.

Один из общепринятых способов повышения мобильности ПО - стандартизация окружения приложений: предоставляемых программных интерфейсов, утилит и т.п. На уровне системных сервисов подобное окружение описывает стандарт POSIX (Portable Operating System Interface – мобильный интерфейс операционной системы). В настоящее время данный стандарт закреплен в качестве международного стандарта ISO/IEC 9945 (IEEE Std 1003.1).

Стандарт POSIX описывает множество базовых, системных сервисов, необходимых для функционирования прикладных программ. Доступ к ним предоставляется посредством интерфейса, специфицированного для языка C, командного языка и общеупотребительных служебных программ.

У каждого интерфейса есть две стороны: вызывающая и вызываемая. Стандарт POSIX ориентирован в первую очередь на вызывающую. Его цель - сделать приложения мобильными на уровне исходного языка. Это значит, в частности, что при переносе С-программ на другую операционную платформу потребуется перекомпиляция. О мобильности выполнимых программ и/или объектных файлов речь не идет.

Существует большое число операционных систем (ОС), предоставляющих необходимые сервисы и тем самым поддерживающих выполнение POSIX-совместимых приложений. Такие системы называют POSIX-совместимыми. Можно утверждать, что следование стандарту POSIX облегчает перенос приложений практически на любую сколько-нибудь распространённую операционную платформу. Дополнительные усилия по повышению мобильности, прилагаемые на этапе разработки, безусловно, окупятся.

Определяя интерфейс к системным сервисам, POSIX оставляет за рамками рассмотрения их реализацию. В частности, не различаются системные вызовы и библиотечные функции. Не являются объектом стандартизации средства администрирования, аппаратные ограничения и функции, необходимые только суперпользователю, что еще раз подчеркивает направленность стандарта POSIX на приложения, а не на операционные системы.

POSIX нейтрален по отношению к системной архитектуре и разрядности процессора. Это очень важный аспект мобильности приложений.

Ориентация на международный стандарт языка С определила не только стиль описания функций, но и, до некоторой степени, направление развития спецификаций POSIX в плане синхронизации обоих стандартов.

Кроме того, стандарт IEEE Std 1003.2 (Shell and Utilities) определяет систему команд эталонного командного интерпретатора (POSIX-shell) и структуру аргументов команд. Таким образом, работа с POSIX-совместимыми системами требует минимальных затрат на переобучение.

## **Модель OSI/RM**

Тезис о пользе стандартизации, справедливый для всех отраслей, особое значение приобретает в компьютерных сетях. Суть сети – это соединение разного оборудования, а значит, проблема совместимости является одной из наиболее острых. Без соблюдения всеми производителями общепринятых правил разработки оборудования прогресс в деле создания сетей коммуникационных был бы невозможен. Поэтому все развитие компьютерной отрасли, в конечном счете, отражено

в стандартах – любая новая технология только тогда начинает использоваться широко, когда ее содержание закрепляется в соответствующем стандарте.

При описании взаимодействия двух вычислительных систем (узлов сети) с использованием вычислительной (компьютерной) сети с целью стандартизации такого описания принято разделять все процессы при взаимодействии на **уровни описания** – от электрических сигналов и контроля состояния линий связи до **сетевых сервисов (служб)**.

Процедура взаимодействия двух узлов может быть описана в виде набора правил взаимодействия каждой пары соответствующих уровней обеих участвующих сторон.

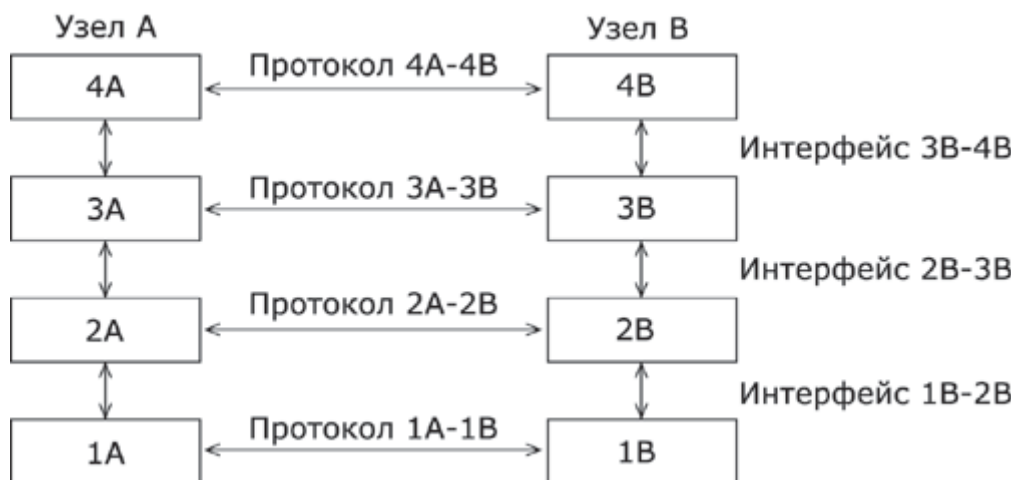


Рис. 12. Уровни вычислительной системы, интерфейсы и протоколы

## Протоколы и интерфейсы

Формализованные правила, определяющие последовательность и структуру (формат) сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах, называются **протоколом**.

Формализованные правила, определяющие взаимодействие компонентов, лежащие на разных (соседних) уровнях для одного узла, называются **интерфейсом**.

Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется **стеком коммуникационных протоколов**.

**Модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection, OSI)** определяет различные уровни взаимодействия систем в вычислительных сетях, дает им стандартные имена и указывает, какие функции должен выполнять каждый уровень.

Модель OSI была разработана на основании большого опыта, полученного при создании компьютерных сетей, в основном глобальных, в 70-е годы XX века. Полное описание этой модели занимает более 1000 страниц текста.

Полностью данная модель никогда не реализуется, но она является основной для реальных программных и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие, поэтому её называют **базовой (reference)** моделью и часто обозначают как **OSI/RM**.

## **Разделение ресурсов вычислительных систем**

Основной целью разделения ресурсов является повышение эффективности их использования. При совместной работе компьютеров в сети возможно перераспределение ресурсов от тех узлов сети, которые мало используют свои ресурсы, «в пользу» тех, кому своих ресурсов недостаточно.

К ресурсам относятся:

1. Оперативная память
2. Возможности процессора (CPU – центральный процессорный модуль)
3. Внешняя память (объём и файлы)
4. Программное обеспечение
5. Устройства вывода.

Разделение ресурсов реализуется с помощью вычислительных сетей (сетей ЭВМ). Существует две модели разделения ресурсов – централизованная и распределенная.

## **Аппаратные средства ЭВМ: основные устройства**

### **Внутренняя память**

- ПЗУ компонентов
- Оперативная память (энергозависимая)
- Память внутри процессора (кэш-память, тоже энергозависимая).

### **Внешняя память**

- Жёсткие диски
- Оптические приводы (DVD/CD)

- Сменные твердотельные носители (флэш-накопители).

### Устройства ввода

- Клавиатура и мышь
- Сенсорные экраны и тачпады
- Сканеры, виде- фото-камеры
- Дигитайзеры и т.п.

### Устройства вывода

- Мониторы
- Принтеры и подобные устройства.

## Централизованная модель разделения ресурсы («хост-терминал»)

Главный компьютер («хост») предоставляет все 5 видов ресурсов

Терминал не обладает никакими ресурсами.

Терминал – это **монитор + клавиатура + средства подключения к компьютерной сети** (дешевое и надежное устройство).

В идеальном случае у терминала отсутствуют программное обеспечение (ПО) и устройства внешней памяти.

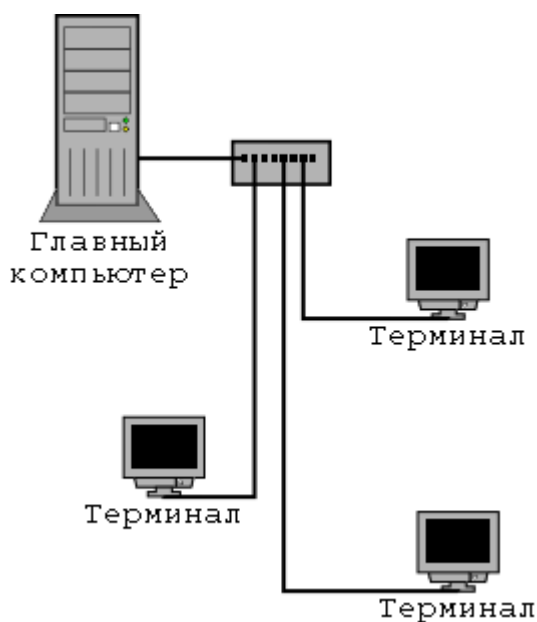


Рис. 13. Модель централизованных ресурсов

Централизованная модель обладает важными достоинствами:

- предельно упрощается и удешевляется сопровождение и администрирование (все ресурсы – в одном месте)
- полный контроль за действиями пользователей



- пользователи не могут делать того, что им не разрешено
- через терминал не занести вирус
- терминалы слабо загружают линии связи, поэтому их может быть много (истории известны конфигурации с несколькими тысячами терминалов).

Однако при таком подходе могут быть выделены и недостатки:

- при выходе из строя главного компьютера вся система перестает работать
  - неудобства для пользователей (графического интерфейса либо вообще нет, либо он ограничен по возможностям, осуществляется контроль за пользователями, отсутствуют ресурсы для личного пользования)
  - требуется квалифицированное администрирование (настройка программ, установка прав доступа и т. д.).

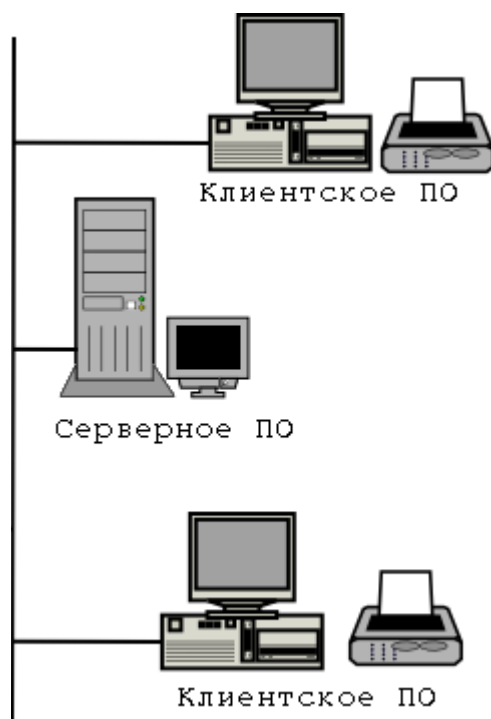
### Распределенная модель разделения ресурсов («клиент-сервер»)

**Сервер** – обычный или специализированный компьютер, снабжённый специальным (серверным) программным обеспечением.

На компьютерах пользователей устанавливаются программы-клиенты.

**Разделяемыми ресурсами** являются устройства ввода/вывода, внешняя память и программы (3 вида ресурсов)

И сервер, и клиенты – полноценные компьютеры, которые могут работать независимо от других. Список разделяемых ресурсов и порядок их использования определяется администратором вычислительной системы.



### Рис. 13. Модель распределенных ресурсов

Распределенная модель обладает важными достоинствами:

- выход из строя одного из узлов сети не приводит к катастрофе
- пользователи на своих компьютерах могут делать что угодно
- гибкая конфигурация – каждый узел может быть и клиентом, и сервером

Однако при таком подходе могут быть выделены и недостатки:

- затруднен контроль за действиями пользователей
- администрирование является достаточно трудоемким (требуется следить за большим количеством узлов)
- если разделяемыми ресурсами являются программы, то сильно загружаются линии связи и требуется быстрая сеть
- во многих случаях требуется согласование конфигураций сервера и клиентов, т.е. замена серверных программ приводит к модернизации компьютеров пользователей или установке дополнительных программ.

### Эволюция разделения ресурсов

Развитие подходов к разделению ресурсов в вычислительных системах прошло через несколько этапов.

**1 этап:** чисто терминальные системы (до появления персональных компьютеров). Очень дорогие «центральные» компьютеры с большим количеством терминалов, подключаемых через последовательные интерфейсы и телефонные линии (современная реализация – **мэйнфрейм**).

**2 этап:** «клиент-серверные» системы (с персональными компьютерами). Сети из сравнительно дешевых компьютеров с распределенными разделяемыми ресурсами и бесконтрольными пользователями.

**3 этап:** терминальные системы возрождаются в виде «тонких» клиентов. Используется либо web-интерфейс, либо специальные терминальные программы (терминальные серверы и клиенты Remote Desktop).

### Варианты клиентов в модели «клиент-сервер»

С технологической точки зрения введены понятия «толстый» и «тонкий» клиент. «Толстый» клиент – компьютер, который запрашивает у сервера **программы**, в дальнейшем работающие на этом компьютере (по сети передаются программы). «Тонкий» клиент – компьютер, посылающий

серверу **данные** и получающий результаты их обработки (по сети передаются данные).

Однако на рынке вычислительных систем «тонкий» клиент трактуется как компьютер с облегчённой версией ОС, не имеющий прикладных программ. Дополнительно существует понятие «сверхтонкий» клиент – вычислительная система, посылающая серверу данные и получающая результаты их обработки. Чаще всего «сверхтонкие» клиенты реализуются при использовании браузера в качестве единственной программы, с которой требуется работать пользователю на своей ВМ.

## **Облачные вычисления**

«**Облако**» – сеть из серверов, на которых размещаются программы обработки данных и персонализированные хранилища данных.

Компьютеры пользователей («сверхтонкие» клиенты) оснащаются заранее настроенными программами для связи с «облаками».

Можно сказать, что подход «облачных» вычислений реализует модифицированную модель «хост-терминал».

В отличие от моделей «хост-терминал» и «клиент-сервер» (в их исходном понимании) для «облачных» сервисов невозможно сказать, где именно хранятся и обрабатываются данные (к анонимности пользователей добавляется некоторая анонимность сервисов).

С позиции пользователя применение «облачных» технологий может быть охарактеризовано как возможность использования в своей деятельности чужих (внешних) ресурсов и информационной инфраструктуры.

С позиции ИТ-консалтинга применение «облачных» технологий может быть охарактеризовано как стиль, при котором масштабируемые ИТ-ресурсы предоставляются внешним пользователям в качестве сервиса с помощью интернет-технологий.

С позиции ИТ-специалиста использование «облачных» технологий может быть охарактеризовано как подход, при котором огромное количество серверов объединяются в один мощный вычислительный механизм с использованием технологий виртуализации, а ресурсы одного сервера подразделяются на виртуальные машины и применяются многими пользователями одновременно.

## **Преимущества и риски использования «облачных» технологий**

Использование «облачных» решений означает аутсорсинг всей ИТ-инфраструктуры. Использование технологий мобильной связи позволяет

вообще не иметь на балансе средств вычислительной техники (сотрудники могут использовать личные ноутбуки/планшеты с GSM-модемами или мобильным WiMAX).

При этом обеспечиваются следующие преимущества:

- Снижение (в пределе – до нуля) усилий на поддержку и развитие корпоративной информационной системы (КИС)
- Мобильность сотрудников (не нужен большой офис и обеспечивается работа в режиме 24 x 7)
- Не нужны системные администраторы.

Использование «облачных» технологий также влечет за собой риски, а именно:

- Отсутствие контроля над данными и сетевым обменом
- Обезличенная ответственность
- Затраты на переобучение и ликвидацию навыков «пользователя ПК».

### **«Облачные» сервисы**

Со стороны пользователя, работа с «облаком» ничем не отличается от работы с сайтом, т.е. требуется только браузер. В некоторых случаях используются специализированные программы-агенты, но это не обязательно.

В «облаках» могут предоставлять следующие сервисы:

- Хранение документов и прочих файлов
- Электронная почта
- Календарь-планировщик
- Он-лайн создание документов и совместная работа с ними
- Система обмена мгновенными сообщениями
- «Личный кабинет» пользователя

### **Внешние и внутренние «облака»**

**Внешнее «облако»** – это сервис или набор сервисов, доступный всем без исключения. При этом вычислительные услуги должны быть оплачены, и для получения доступа к сервисам необходимо иметь выход в Интернет

**Внутреннее (частное) «облако»** – корпоративные пользователи имеют доступ к сервисам только в стенах предприятия, защищенного сетевым экраном. «Точкой входа» может быть корпоративный портал – сервисы становятся доступными после авторизации по защищённому протоколу.

Для создания частного «облака» для корпоративных целей можно использовать следующие возможности:

- Использовать Google Web Toolkit и получить «личный» вариант Google Docs
- Использовать систему электронного документооборота (СЭД) любого класса с web-интерфейсом.

Для использования в управленческой деятельности принципиально различаются два варианта «облачных» решений:

- Нет он-лайн редактирования офисных документов (используются программы на компьютерах пользователей), доступ к файлам через WebDAV (пример – Google Drive).
- Есть он-лайн редактирование офисных документов, на компьютерах пользователей – только браузеры.

### **Три основных варианта «облачных» ресурсов**

- **Приложение как сервис (SaaS, Software as a Service):** провайдер предоставляет интерфейс к прикладному ПО (самый распространённый вариант). Самый известный пример – Google Docs. Есть специализированные сервисы для математиков, медиков и др.
- **Платформа как сервис (PaaS, Platform as a Service):** провайдер предоставляет «конструктор» (framework) для разработки собственных приложений. Пример – Google Apps.
- **Инфраструктура как сервис (IaaS, Infrastructure as a Service):** использование сервера и дискового пространства, удаленных от пользователя. На этой основе можно использовать любое пользовательское ПО (с учетом лицензионных ограничений).

### **Задания для самостоятельной работы**

Подготовить письменное сообщение (эссе) по указанному преподавателем варианту заданий из приведенного ниже списка. При подготовке сообщения выписать термины и сокращения, дать их объяснение и расшифровку.

1. Микропроцессоры: понятие и назначение. Технологии производства и области применения
2. Характеристики современных (микро)процессоров. Закон Мура. Применимость закона Мура.
3. Процессоры Intel: от 8088 до 486.
4. Процессоры Intel: от Pentium до Core i7.

5. Процессоры AMD.
6. RISC-процессоры. Особенности реализаций.
7. Технологические решения и параметры процессоров Alpha (DEC/HP).
8. Конвейерная обработка в процессорах.
9. Процессоры VLIW. Принципы построения и реализации.
10. Эволюция процессоров «Эльбрус».
11. Проектная норма как универсальная характеристика уровня технологии. Влияние проектной нормы на уровень интеграции.
12. Многооперационная обработка (суперскалярность). Способы суперскалярной обработки данных в современных процессорах.
13. Понятие интерфейса в вычислительной системе. Контроллер (адаптер) аппаратного интерфейса. Параллельные и последовательные интерфейсы. Характеристики аппаратных интерфейсов.
14. Последовательные интерфейсы: COM, USB, E-SATA. Параметры контроллеров, скорости обмена данными, применение.
15. Параллельные интерфейсы: LPT, IDE, SCSI. Применение, разрядность, скорость обмена данными.
16. Интерфейсы устройств внешней памяти: SCSI, iSCSI, SAS, FiberChannel. Применение, скорости обмена данными.
17. Шина PCI. Варианты, характеристики, возможности подключения адаптеров.
18. Интерфейсы видеоустройств: аналоговое видео, HDMI, DVI. Особенности, области применения.
19. Универсальный интерфейс USB. Первоначальная идея и развитие. Особенности USB 3.0. Конструкционные решения.
20. Принципы организации синхронной и асинхронной передачи данных. Синхронные и асинхронные интерфейсы в вычислительной системе.

## Операционные системы

**Операционная система (ОС):** набор программ (в том числе и *микропрограмм*), выполняющий три основные функции

1. Управление аппаратными средствами вычислительной системы
2. Управление программными средствами

### 3. Обеспечение взаимодействия пользователя с вычислительной системой (*пользовательского интерфейса*)

#### **Варианты классификации ОС**

- По количеству одновременно решаемых задач (однозадачные или многозадачные);
- По количеству одновременно работающих пользователей (однопользовательские или многопользовательские);
- По возможности работы в компьютерных сетях (несетевые, сетевые или распределенные);
- По разрядности (16-, 32- или 64-разрядные);
- По возможности защиты (незащищенные или защищенные);
- По порядку лицензирования (коммерческие или свободные).

**Разрядность** определяет диапазон представления чисел и влияет на количество адресов (объем) оперативной памяти (**почему?**), возможности использования больших объемов внешней памяти и диапазоны представления календарных дат.

В **однопользовательской** ОС пользователь имеет полный доступ ко всем ресурсам системы (настройкам, файлам, папкам) и может как угодно переделывать систему. Он является «хозяином» и несет полную ответственность за свои действия.

В **многопользовательской** ОС всегда существует «главный» пользователь (администратор, суперюзер), который назначает права доступа к ресурсам для остальных пользователей. Наличие различных прав доступа означает возможность защиты программ и данных.

**Несетевые** ОС не имеют средств работы в компьютерных сетях, и для подключения к сети компьютеров с такими ОС требуется установка дополнительных программ.

**Сетевые** ОС содержат средства для работы в сети в своем составе, и компьютеры с такими ОС могут работать как отдельно, так и в составе сети.

**Распределенные** ОС не могут работать без компьютерной сети. Для работы им требуется не менее 2-х компьютеров.

16-разрядные, несетевые, однопользовательские ОС в настоящее время используются только на сильно устаревших или узкоспециализированных аппаратных платформах.

## Многозадачность в операционных системах

*В однозадачной ОС каждая программа полностью захватывает всю систему, и пока она не прекратит работу, нельзя запустить другую программу.*

В многозадачной ОС запускается одновременно много программ, и можно переключаться между ними (например, с помощью Alt+Tab).

Многозадачность может быть принудительная (**режим разделения времени**) и вытесняющая (выбранная программа - –активное окно– - использует большую часть ресурсов системы, а все остальные программы работают в –фоновом режиме–).

**Системные программы (процессы)** имеют для систем с вытесняющей многозадачностью более высокий приоритет, чем **пользовательские программы (процессы)**, поэтому работа пользователя может существенно замедляться при выполнении системных задач, активно использующих ресурсы (индексация файлов, проверка на вирусы и т.п.).

### Режим разделения времени

Основной режим в высокопроизводительных ЭВМ. Каждому пользователю выделяется некоторый интервал времени («квант»), в течение которого система обслуживает этого пользователя. Затем система переключается на обслуживание следующего пользователя и т.д. Чаще всего переключение происходит циклически (по кругу). Промежуток времени между квантами обслуживания для конкретного пользователя – время ожидания обслуживания. Системы, в которых время ожидания никогда не превышает заданной величины – **системы реального времени**.

## Задания для самостоятельной работы

Подготовить ответы на следующие вопросы для самопроверки:

1. Сколько пользователей может одновременно обслужить мэйнфрейм с производительностью 10 GFLOP/S, если время ожидания не превышает времени реакции пользователя (0,1 сек), а квант составляет 100 000 операций?
2. Что такое «интерфейс»?
3. Что такое «протокол»?
4. Какие виды ресурсов предоставляются для совместного использования в модели «хост-терминал»?



5. Какие виды ресурсов предоставляются для совместного использования в модели «клиент-сервер»?
6. В чем отличие «толстого», «тонкого» и «сверхтонкого» клиентов?
7. Как может быть охарактеризован в понятиях модели «клиент-сервер» смартфон, использующий GoogleDrive для хранения файлов?
8. Как может быть охарактеризован в понятиях модели «клиент-сервер» смартфон, использующий GoogleDocs для работы с офисными документами?

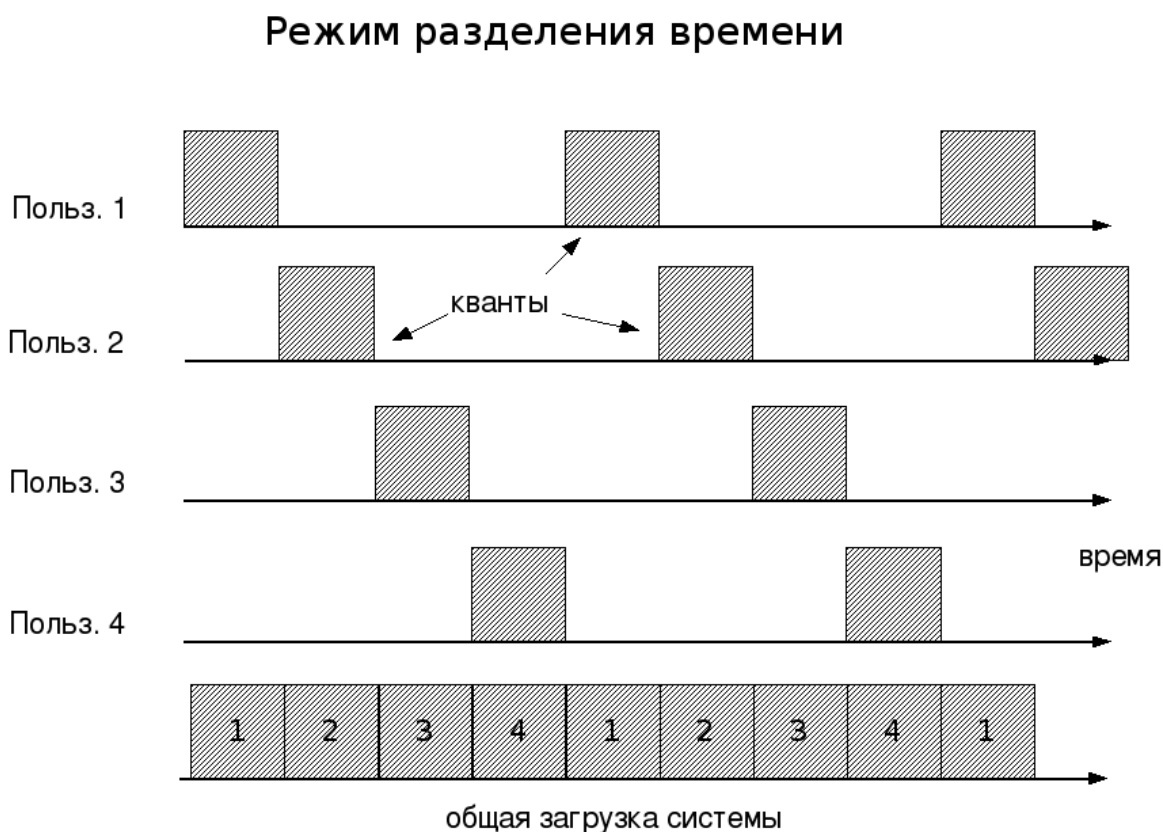


Рис. 14. График загрузки системы в режиме разделения времени

## Внешняя память и файловые системы

### Файлы и дескрипторы

**Файл** – поименованная совокупность данных (байтов), размещенная на устройстве внешней памяти. Файлы можно создавать, открывать, закрывать, копировать, переименовывать/перемещать, выводить на устройства вывода и удалять.

С каждым файлом связывается **дескриптор** – служебная информация о файле. Дескриптор обычно содержит *тип файла* (данные, программа или принадлежность к какой-то прикладной программе), *дату и время создания*, *права доступа* (владелец/группа) и *атрибуты* (скрытый, ссылка и пр.).

Файлы объединяются в *каталоги (папки)*.

## **Файловая система**

**Файловая система (ФС)** – правила и методы именования файлов и папок (каталогов), доступа к файлам и папкам, составления дескрипторов файлов, обеспечения защиты и целостности файлов.

Целостность файла означает, что в нем хранится только та информация, которая в нем должна быть, и не хранится того, чего не должно быть.

Каждая операционная система (ОС) работает с одной или несколькими ФС.

## **Полное имя файла**

*Полное имя файла* включает в себя последовательный список всех папок, начиная от основной папки в разделе, в порядке их вложенности, которые нужно «пройти», чтобы добраться до конкретного файла. Каждый файл имеет собственное имя, но файлы с одинаковыми именами в разных папках для ФС являются различными, т.к. у них разные полные имена.

Конкретный вид полного имени файла зависит от ФС.

В некоторых ФС для файлов нужно в явном виде указывать расширение (тип), т.е. принадлежность файла к какой-либо программе.

## **Внешняя память: разделы MBR и GPT**

В соответствии со спецификацией MBR на каждом физическом устройстве внешней памяти (диске) может находиться не более 4-х основных (первичных, физических) разделов.

Если необходимо разместить более 4-х разделов, то последний основной объявляется расширенным и затем в нем создаются логические разделы. Количество логических разделов (томов, дисков) в расширенном разделе теоретически не ограничено, хотя существуют ограничения самих операционных систем на максимальное количество логических дисков. Например, в Windows число доступных дисков ограничено количеством букв.

Один из основных разделов обязательно должен быть объявлен активным (А). Это необходимо для загрузки операционной системы типа Windows (в этом случае активным должен быть первый основной раздел).

В каждом разделе выделяется две области – **область файловой системы** (в начале раздела) и **область данных**. В области ФС размещается информация о файлах и папках, дескрипторы файлов и другая служебная информация.

Для работы с областью ФС используются служебные программы создания файловых систем (format, mkfs) и прикладные программы – менеджеры файлов.

Помимо ограничения на 4 основных раздела спецификация MBR имеет еще одно ограничение – нельзя адресовать дисковое пространство более 2 Тбайт.

Эти ограничения снимаются при переходе к другому варианту формирования таблиц разделов – GPT (GUID Partition Table), где GUID (Globally Unique Identifier) – статистически уникальный 128-битный идентификатор.

Для дисков GPT нет ограничений на количество основных разделов и нет практических ограничений на адресуемый объем дисковой памяти (теоретически — до  $9.4 \cdot 10^{21}$  байт).

Первые 512 байт по-прежнему содержат таблицу MBR (т.н. «защищенный MBR») для совместимости со старыми аппаратными платформами (BIOS).

На дисках GPT загрузчик ОС находится не в первом разделе.

## **Блоки и фрагментация**

Вне зависимости от размера файла информация на диски записывается блоками. Размеры блоков фиксированы и бывают 512, 1024, 2048, 4096 или 8192 байта. В различных файловых системах размеры блоков различаются. Размеры файлов не равны размерам блоков и изменяются в течение жизни файлов. Возникает эффект фрагментации.

## **Особенности некоторых файловых систем**

- **FAT32**: основная файловая система для современных USB-носителей и карт памяти. Размер блока (кластера) зависит от размера логического раздела. Отличается высокой скоростью чтения-записи. Не позволяет ограничивать права пользователей. Предельный размер файла –  $2^{32}$  байт. Не предусмотрено восстановление файлов после сбоя ОС (штатными средствами). Размер раздела, создаваемого

средствами ОС Microsoft – не более 32 Гбайт. Поддерживается всеми современными ОС.

- **exFAT**: разработана Microsoft для устранения ограничений FAT32. Предельный размер файла –  $2^{64}$  байт. Для полной поддержки в устройствах (планшетах, фото-видеокамерах) требуется лицензирование у Microsoft.

- **NTFS**: основная ФС в современных ОС Microsoft. В первоначальном варианте ребрендинг HPFS фирмы IBM. Размер блока (кластера) 512 байт. Предельный размер файла –  $2^{64}$  байт. Позволяет разделять права пользователей (ACL – Access Control List). Позволяет восстанавливать данные после сбоев ОС за счет ведения *журнала* ФС. В ОС Microsoft не предусмотрено создание NTFS на сменных носителях. Поддерживается всеми современными ОС (кроме ОС для мобильных устройств).

- **ext2/3/4**: основные ФС в ОС семейства GNU/Linux. Позволяют разделять права пользователей. ext3/4 – журналируемые.

- **CDFS (ISO 9660)**: Это ФС для цифровых компакт-дисков (дисков с данными). Поддерживается любыми ОС. Чтобы CD читался где угодно, нужно при записи создавать на нем именно эту ФС (сделать соответствующие настройки в программе записи CD). Имеет ограничения на длину имени файла и на использование национальных кодировок в именах файлов.

- **UDF**: (Universal Disk Format, универсальный дисковый формат) – спецификация ФС, независимой от операционной системы для хранения файлов на оптических носителях. UDF является реализацией стандарта ISO/IEC 13346. Формат UDF снимает ограничения ISO 9660. UDF также применяется для DVD, так как нет ограничений на размер файла. Поддерживается во всех современных ОС.

## Лицензирование операционных систем

### Виды лицензионных соглашений

- **Несвободные лицензии** (название «коммерческие» не совсем корректно): авторский договор обеспечивает **право использования программных средств при определенных условиях** (на количество компьютеров, на срок и т.п.). Как правило, такое право передается за деньги. Техническая поддержка оплачивается отдельно.

- **Свободные лицензии**: авторский договор обеспечивает **право распоряжаться программными средствами по усмотрению пользователя** (кроме нарушения законодательства). Такие права

могут передаваться как за деньги, так и бесплатно. Техническая поддержка оплачивается отдельно.

### **Политика лицензирования Microsoft Windows**

- На предприятиях для настольных компьютеров можно использовать версии Windows Basic, Home, Professional или Business (Windows Basic и Home не позволяют в полной мере использовать централизованную авторизацию)
  - Количество одновременных подключений к ресурсам настольного компьютера – не более 20 (для Windows Prof.)
  - Для обеспечения количества одновременных подключений к ресурсам компьютера (в модели «клиент-сервер») нужна лицензия Windows Server
  - Для обеспечения подключений к ресурсам компьютера (в модели «хост-терминал») нужны отдельные лицензии для Windows Server

В таблице ниже приведены ориентировочные цены на различные варианты лицензий на право использования Microsoft Windows.

| <b>Продукт (цены на октябрь 2014 г., руб.)</b>                                                                       | <b>Примерная стоимость</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Microsoft Windows 8.1 (электронная версия, без носителя)                                                             | 4283                       |
| Windows Server 2012 Standard (на сервер, минимальное количество пользовательских лицензий — 5)                       | 30220                      |
| Microsoft Windows Server Standard 2012 User CAL (дополнительная пользовательская лицензия)                           | 1151                       |
| Microsoft Windows Server Standard 2012 Remote Desktop Server Device CAL (лицензия на подключение в режиме терминала) | 3472                       |

### **Свободные лицензии**

Понятие «свободного произведения», первоначально сформулированное для программного обеспечения, а потом распространившееся на программную документацию, литературные произведения, графические материалы и фотографии, видео- и аудиопродукцию, подразумевает четыре основных права («свободы») пользователей таких произведений (точные формулировки приведены в ГОСТ Р 54593-2011 «Информационные технологии. Свободное программное обеспечение. Общие положения»):

1. право использования произведения в любых не противоречащих законам целях

2. право распространения произведения
3. право доработки или иной модификации произведения
4. право распространения модифицированных (производных) произведений

Свободное программное обеспечение в подавляющем большинстве случаев является результатом коллективного труда международных групп разработчиков (сообществ), поэтому авторские договоры (лицензии) также имеют международный статус.

Существует Приказ Минкомсвязи от 13.01.2012 N10 «О создании рабочей группы по вопросу адаптации международных свободных лицензий к национальному законодательству и их применения на территории Российской Федерации».

Основные варианты лицензий на свободное программное обеспечение (СПО) приведены в таблице ниже.

| <b>Сравниваемые условия</b>                                                                 | <b>GNU GPL</b> | <b>BSD</b> | <b>MIT/X11</b> | <b>Mozilla public license (MPL)</b> | <b>Apache software license (ASL)</b>            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Требуется указывать имя автора                                                              | Да             | Да         | Да             | Да                                  | Да                                              |
| Измененные файлы должны быть помечены                                                       | Да             | Нет        | Нет            | Да                                  | Нет                                             |
| Наименование производного ПО должно отличаться от наименования продукта создателей лицензии | Нет            | Нет        | Нет            | Нет                                 | Да (если нет письменного разрешения лицензиара) |
| Производные произведения должны распространяться на условиях первоначальной лицензии        | Да             | Нет        | Нет            | Да (только для исходного текста)    | Нет                                             |
| Указана территория, на которую предоставляется лицензия                                     | Нет            | Нет        | Нет            | Да                                  | Нет                                             |
| Отсутствие гарантий на ПО                                                                   | Да             | Да         | Да             | Да                                  | Да                                              |

| <b>Сравниваемые условия</b>                     | <b>GNU GPL</b> | <b>BSD</b> | <b>MIT/X11</b> | <b>Mozilla public license (MPL)</b> | <b>Apache software license (ASL)</b> |
|-------------------------------------------------|----------------|------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Предоставляется право применить другую лицензию | Нет            | Не указано | Не указано     | Да                                  | Не указано                           |

Противоречие для MPL в условиях распространения производных произведений и права применять другую лицензию связано с тем, что требование сохранения исходной лицензии относится к производным произведениям, распространяемым в виде исходных текстов. Однако если производное произведение было скомпилировано как составная часть (модуль, библиотека) другого программного продукта, то результат может распространяться как целостный программный продукт под любой другой лицензией (в том числе и несвободной).

Если какие-то из этих лицензий будут иметь юридическую силу в Российской Федерации, то к ним будет относиться положение части 1 статьи 1235 ГК РФ [6], говорящее о том, что «Право использования результата интеллектуальной деятельности или средства индивидуализации, прямо не указанное в лицензионном договоре, не считается предоставленным лицензиату». Таким образом, во всех случаях, в которых явно не указана возможность смены лицензии (а это все основные свободные лицензии на ПО, за исключением MPL), никто не сможет получить исключительные права на программный продукт, производный от распространяемого по одной из свободных лицензий.

## **Отечественное программное обеспечение**

С середины 2014 года идет работа по переводу государственных корпораций и федеральных органов исполнительной власти на программное обеспечение российского производства с целью обеспечения независимости в области информационных технологий. На начало 2015 года сформировалось определение отечественного (русского) программного обеспечения (ПО), как ПО, разрабатываемого русскими производителями..

Отечественными (русскими) производителями программного обеспечения (ПО), занимающимися производством собственного (проприетарного) ПО или «свободного программного обеспечения» (СПО), либо предоставляющих услуги по разработке, тестированию и поддержке ПО по заказам сторонних организаций, могут быть признаны русские юридические лица, в которых не менее чем 51% долей в уставном капитале

или акций, производных инструментов и других инструментов корпоративного контроля принадлежат прямо или косвенно российским гражданам или государственным образованиям, а также физическим лицам, являющимся гражданами и налоговыми резидентами РФ.

## **Обеспечение производительности и надежности вычислительных систем**

### **Понятие производительности**

**Производительность** – один из главных показателей эффективности вычислительной системы (ВС), определяет ее вычислительную мощность через количество той или иной вычислительной «работы», выполняемой системой в единицу времени, или в течение некоторого временного интервала.

Единицей измерения производительности компьютера является **время**: компьютер, выполняющий тот же объем работы за меньшее время, является более быстрым.

### **Оценки производительности**

Производительность ВС может оцениваться субъективно и объективно.

Субъективной оценкой является реакция ВС на действия пользователя (запуск приложений, открытие/закрытие окон и т.п.). При этом производительность воспринимается относительно других ВС, с которыми сталкивается пользователь, и зависит от программного окружения, работы системного и служебного ПО.

Объективная оценка производительности получается как количественная оценка, полученная после прохождения **тестов производительности**. Для тестирования производительности возможно использование нескольких методик, в частности:

- Использование средств оценки производительности в составе утилит ОС
- Для серийных моделей, выпускаемых крупными компаниями – использование стандартных наборов тестов SPEC.
- Для суперкомпьютеров применяется оценка вычислительной производительности по количеству выполняемых операций с плавающей точкой (т.е. с вещественными числами) в секунду – T(FLOP/S)



## Факторы, влияющие на производительность

- Тактовая частота процессора
- Количество процессоров/ядер
- Объем оперативной памяти
- Скорость работы интерфейсов устройств внешней памяти (скорость обмена между оперативной и внешней памятью)
- Объем видеопамяти
- Операционная система
- Вариант графического пользовательского интерфейса (если он есть)

## Тесты SPEC

SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) выпускает наборы методик и данных для проведения тестирования различных аспектов работы вычислительной системы. Наиболее часто используются следующие оценки.

- CPU2006: «чистая» производительность процессора на вычислениях, различаются тесты для целых чисел (CINT2006) и для чисел с плавающей точкой (CFP2006)
- SPECviewperf: скорость обработки (рендеринга) 3D-моделей с использованием библиотеки OpenGL
- SPECparc: производительность трехмерной графики, для каждого 3D-редактора измеряется отдельно.
- SPECjvm и SPECjEnterprise: позволяют определять производительность Java-машин и узлов Internet в режиме серверов приложений Java
- SPECvirt\_cs: определение производительности средств виртуализации в центрах обработки данных (кластерах).

Производители вычислительных систем покупают наборы тестов, проводят тестирование по методике SPEC, а затем предоставляют SPEC результаты тестирования, которые публикуются в открытом доступе. Эти результаты можно найти на сайте SPEC в соответствующем разделе.

## Кластерные технологии

Кластерные вычисления – технология повышения производительности и надежности ВС, при которой компьютеры соединяются через скоростные каналы связи для совместного решения задач (*концепция виртуального суперкомпьютера*)

Вычислительные узлы этой сети ведут скоординированную работу, используют ресурсы друг друга и потенциально доступны из любой точки системы.

Компьютеры могут быть удалены друг от друга и использовать разные типы коммуникаций, однако для конечного программного продукта и пользователя они играют роль единой вычислительной машины.

### **Варианты кластеров**

- кластеры высокой доступности
- MPP-кластеры (с распределённой памятью)
- высокопроизводительные кластеры (объединение процессоров)
- кластеры распределённой нагрузки (балансировка задач)
- Grid-системы.

Grid-системы характеризуются удалённым расположением вычислительных узлов друг от друга, слабой связью узлов между собой через интернет-каналы, причём доступность того или иного узла в произвольный момент времени не гарантирована.

### **Состав кластера**

В состав кластера входят (см. рис. 15):

1. Управляющий сервер (обеспечивает управление восстановлением системы, мониторинг, резервное копирование)
2. Серверы хранения данных и дисковые накопители (один или несколько, предоставляют совместный доступ к системе хранения данных другим серверам кластера)
3. Система хранения данных (одна или несколько)
4. Вычислительные узлы (выполняют рабочую нагрузку кластера)
5. Узлы планирования (обеспечивают запуск нужных задач в нужное время на нужных вычислительных узлах)
6. Пользовательские узлы (виртуальные рабочие места пользователей)
7. Коммутатор, обеспечивающий внутренние и внешние соединения.

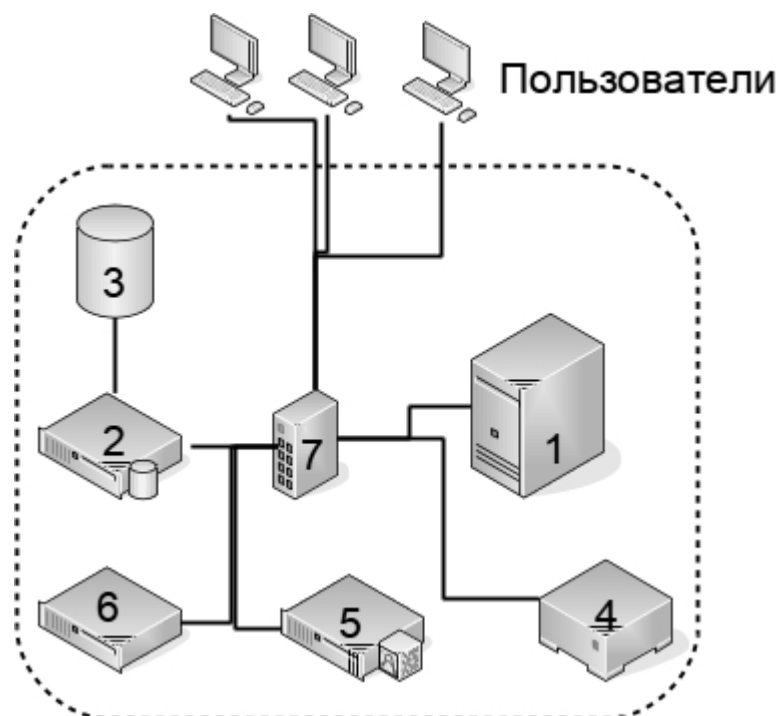


Рис. 15. Типовой состав вычислительного кластера

Функции узлов кластера могут совмещаться.

При создании вычислительных кластеров реализуются три основных принципа

- Масштабирование
- Резервирование
- Виртуализация

### Масштабирование

**Масштабирование** в ИТ – возможность увеличения количественных характеристик системы без изменения архитектуры (конструкции).

Масштабируемыми параметрами в вычислительных системах являются

- Количество пользователей
- Количество процессорных модулей (или компьютеров-узлов)
- Объём оперативной памяти
- Объём дисковой памяти
- Производительность (количество заданных операций в единицу времени)

Условиями реализации масштабирования являются

- Магистрально-модульная архитектура, стандартизация
- Предусмотренный рост скорости компьютерной сети
- Предусмотренный рост энергопотребления

- Программные средства (ОС, web-серверы, серверы баз данных), имеющие возможности масштабирования
- Решение проблемы лицензионных ограничений

### Резервирование в кластерных системах

В общем случае в кластерных системах реализуется три вида резервирования.

- Резервирование вычислительных узлов (заложено в идее кластера);
- Резервирование подсистемы внешней памяти;
- Резервирование данных (резервное копирование – backup).

### Резервирование подсистемы внешней памяти. Дисковые массивы RAID.

**RAID (Redundant Array of Independent disks – избыточный массив независимых дисков):** массив из нескольких дисков (запоминающих устройств), управляемых контроллером, связанных между собой скоростными каналами передачи данных и воспринимаемых внешней системой как единое целое. В зависимости от типа используемого массива может обеспечивать различные степени отказоустойчивости и быстродействия. Служит для повышения надёжности хранения данных и/или для повышения скорости чтения/записи.

В зависимости от способа организации избыточности различаются уровни RAID.

Часто используются следующие варианты (уровни) RAID-массивов.

**RAID 0:** данные (файлы) одновременно записываются на несколько дисков, так что каждый файл физически распределяется по различным устройствам HDD (*stripping*). Повышается скорость операций чтения/записи, но избыточности нет, и надёжность уменьшается. Минимальное количество дисков – 2.

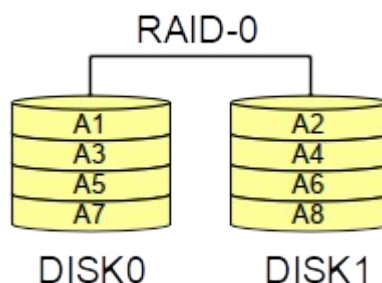


Рис. 16. Схема организации массива RAID 0

**RAID 1:** каждый два диска являются копиями друг друга (*mirroring*). При выходе из строя одного из дисков пары все данные без потерь

остаются на втором. Повышается надежность (максимальная избыточность), но выигрыша в производительности нет. Минимальное количество дисков – 2.

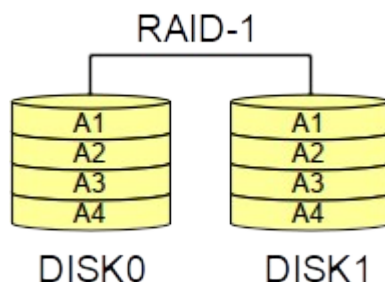


Рис. 17. Схема организации массива RAID 1

**RAID 3:** Один из дисков выделяется для хранения **контрольных сумм** данных, распределенных по остальным дискам. При выходе из строя одного из дисков данные могут быть восстановлены на основе оставшейся информации и контрольных сумм. Повышается надежность, есть выигрыш в производительности. Минимальное количество дисков – 3. Недостаток – повышенная нагрузка на диск с контрольными суммами.

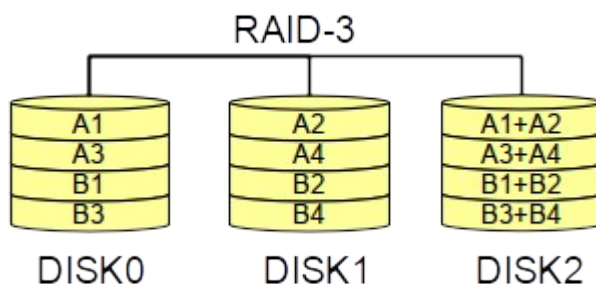


Рис. 18. Схема организации массива RAID 3

**RAID 5:** Контрольные суммы и данные распределены по всем дискам. При выходе из строя одного из данных могут быть восстановлены на основе оставшейся информации и контрольных сумм. Повышается надежность, есть выигрыш в производительности. Минимальное количество дисков – 3. Нагрузка на все диски равномерная.

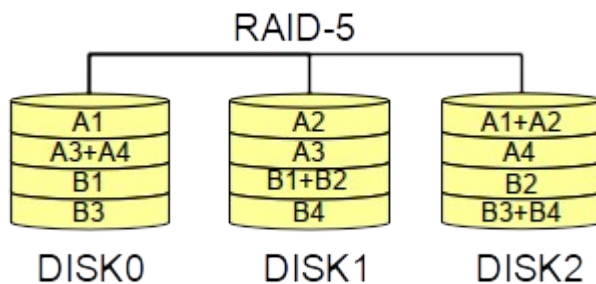


Рис. 19. Схема организации массива RAID 5

**RAID 6:** Контрольные суммы и данные распределены по всем дискам. Для данных вычисляется две различные контрольные суммы. Устойчив к одновременному выходу из строя половины дисков. Минимальное количество дисков – 4. Нагрузка на все диски равномерная.

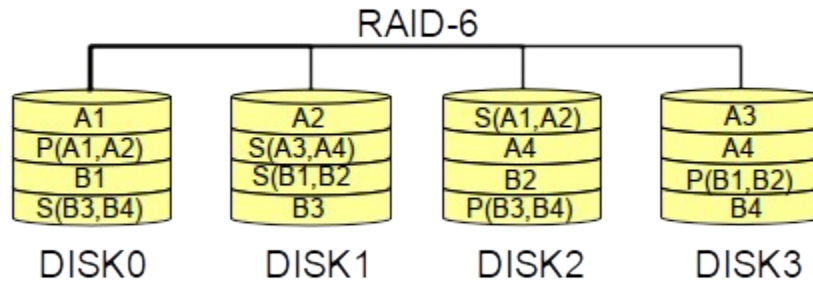


Рис. 20. Схема организации массива RAID 6

### Резервирование данных в кластерных системах

**Резервное копирование** (резервирование, *backup*) – процесс создания копии данных на носителе (жёстком диске, магнитной ленте и т.д.), предназначенном для восстановления данных в *оригинальном месте их расположения* в случае их повреждения или разрушения, соответствующими программами – резервными дубликаторами данных.

Различают *полное* резервирование и *инкрементальное* резервирование.

**Архивация** – подготовительная обработка, которая может включать сжатие данных, для долгосрочного хранения или передачи их по сети.

Архивация состоит из двух этапов: превращение набора файлов в один файл, а затем сжатие (компрессия).

В сетях предприятий и в кластерных центрах обработки данных (ЦОД) используются специализированные **серверы резервного копирования** с соответствующим программным обеспечением. На пользовательских узлах должны в таком случае устанавливаться **агенты (клиенты)** системы резервного копирования.

Резервирование производится автоматически и по расписанию (раз в сутки – инкрементальное, раз в неделю – полное).

### Виртуализация в кластерных системах

**Виртуализировать** означает взять нечто одной формы и заставить его казаться другой формы. *Виртуализировать компьютер* означает заставить компьютер казаться сразу несколькими компьютерами или совершенно другим компьютером.

Виртуализацией также называется ситуация, когда несколько компьютеров представляются как один отдельный компьютер. Обычно это называют **серверным кластером** (*grid computing*).

Возможны следующие варианты (технологии) виртуализации:

- **Виртуализация оборудования:** возможность предоставления *гостевой операционной системе (ОС)* некоторого стандартного набора оборудования и ресурсов вне зависимости от оборудования и ресурсов *гипервизора (хост-системы)*. Условием является избыточность аппаратных ресурсов хост-системы. *Примеры:* «облачные» технологии, использование одновременно нескольких операционных систем на одних и тех же аппаратных средствах.

- **Виртуализация процессора:** создание «прослойки» между приложением и операционной системой основного компьютера так, что выполнение приложений не зависит от основной операционной системы. От основной ОС зависит только реализация «прослойки». Пример – «виртуальная машина Java» (JVM) и Java-приложения.

- **Командная виртуализация:** предоставление *трансляторам языков программирования* возможности трансляции программ на *машинный язык* процессора, не совпадающего с реальным процессором компьютера, на котором выполняется такая трансляция (например, системные программы для планшетных компьютеров на процессоре ARM делаются на настольных компьютерах с процессорами Intel или AMD).

## Соединение узлов в кластерных системах

Для подключения высокопроизводительных хранилищ данных (дисковых массивов, доступных для всех узлов кластера) используются технологии **SAN (Storage Area Network)**.

Для таких массивов требуется обеспечить высокую скорость обмена данными со всеми узлами кластера.

Используется два варианта соединений (интерфейсов и протоколов):

- **iSCSI (Internet Small Computer System Interface)** – протокол, который базируется на TCP/IP (стандартный сетевой протокол) и разработан для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами (стандартизованным по RFC 3720). Системы на основе iSCSI могут быть построены на любой достаточно быстрой физической основе, поддерживающей протокол IP, например Gigabit Ethernet или 10G Ethernet.

- **Fibre Channel (волоконный канал)** – использует волоконно-оптические линии связи. Используется как стандартный способ подключения к системам хранения данных уровня предприятия. Протокол FC заменяет TCP на транспортном уровне.

Для соединения узлов кластера применяются как обычные компьютерные сети (с пропускной способностью от 2 Мбит/с для GRID-систем до 1000 Мбит/с для кластеров высокой доступности), так и специальные каналы связи, обеспечивающие максимально достижимую пропускную способность.

**InfinyBand** – высокоскоростная коммутируемая последовательная шина, применяющаяся как для внутренних (внутрисистемных), так и для межсистемных соединений.

Максимальная пропускная способность (в серийных системах) – около 300 Гбит/с.

В Единой автоматизированной информационной системе таможенных органов (ЕАИС ТО) кластерные системы и технологии виртуализации применяются в центрах обработки данных (ЦОД) на уровне центрального аппарата (Главный ЦОД Центрального информационно-технического таможенного управления — ЦИТТУ) и региональных таможенных управлений (РТУ). На уровне таможни центры обработки данных обычно делаются на основе отдельных серверов.

Системы высокопроизводительных вычислений традиционно сокращают как **HPC (High Performance Computing)**. Такие системы применяются для решения различного класса задач, требующих больших вычислительных мощностей:

- Моделирование в задачах гидро- и аэродинамики, проектирования и испытаний
- Обработка больших объёмов информации в короткое время
- Обеспечение поиска данных в сверхбольших хранилищах
- Шифрование и дешифрование больших объёмов информации в потоковом режиме.

В качестве примера вычислительных ресурсов и производительности суперкомпьютеров в таблице ниже приведены 10 наиболее производительных HPC-систем мира (источник: <http://www.top500.org/>).



| Место | Страна   | Название                   | Число ядер | TFLOP/S |
|-------|----------|----------------------------|------------|---------|
| 1     | Китай    | Tianhe-2 (MilkyWay-2)      | 3120000    | 33863   |
| 2     | США      | Titan - Cray XK7           | 560640     | 17590   |
| 3     | США      | Sequoia - BlueGene/Q       | 1572864    | 17173   |
| 4     | Япония   | K computer                 | 705024     | 10510   |
| 5     | США      | Mira - BlueGene/Q          | 786432     | 8587    |
| 6     | США      | Piz Daint - Cray XC30      | 115984     | 6271    |
| 7     | США      | Stampede - PowerEdge C8220 | 462462     | 5168    |
| 8     | Германия | JUQUEEN - BlueGene/Q       | 458752     | 5009    |
| 9     | США      | Vulcan - BlueGene/Q        | 393216     | 4293    |
| 10    | США      | Cray XC30                  | 225984     | 3143    |

## Задания для самостоятельной работы

Подготовить письменное сообщение (эссе) по указанному преподавателем варианту заданий из приведенного ниже списка. При подготовке сообщения выписать термины и сокращения, дать их объяснение и расшифровку.

1. Понятие производительности вычислительной системы. Субъективная и объективная производительность. Средства определения (тестирования) производительности.
2. Тесты SPEC. Общая характеристика. Результаты тестов SPECсри для различных классов компьютеров: ноутбуков, настольных ПК, серверов.
3. Определение производительности графической подсистемы в 2D- и 3D-режимах. Результаты тестов для конкретных моделей компьютеров.
4. Многоядерные процессоры. Зависимость производительности от количества ядер. Увеличение количества ядер со временем. Перспективы наращивания количества ядер в процессорах.
5. Многопроцессорные системы. Зависимость производительности от количества процессоров для различных процессорных архитектур. Многопроцессорные системы в суперкомпьютерах.
6. Факторы, определяющие быстродействие дисковой подсистемы. Дисковые массивы RAID. Варианты и особенности RAID-массивов.
7. Асинхронная схема организации компонентов современных компьютеров. Тактовая частота, частоты интерфейсных шин. Назначение и уровни кэш-памяти процессора.

8. Кластерные вычислительные комплексы. Организация кластеров. Взаимодействие узлов в кластерах.

## Компьютерные сети

### Понятие, назначение, состав

**Компьютерная сеть:** программно-аппаратный комплекс, создаваемый из отдельных устройств (узлов), соединенных *каналами (линиями) связи* для решения задач эффективного разделения ресурсов, повышения производительности и надежности вычислительных систем и обеспечения коммуникаций между пользователями.

### Состав компьютерной сети

- Компьютеры пользователей (станции)
- Серверы (специализированные компьютеры, предоставляющие какие-то ресурсы)
- Коммуникационное оборудование (средства для организации связи)
- Линии (каналы) связи
- Сетевые операционные системы
- Серверные программы (сервисы)

### Топологии компьютерных сетей

**Топологией сети** называется физическая или электрическая конфигурация кабельной системы и соединений сети (способ соединений). В топологии сетей применяют несколько специализированных терминов:

- **узел сети:** компьютер, либо коммутирующее устройство сети;
- **ветвь сети:** путь, соединяющий два смежных узла;
- **оконечный узел:** узел, расположенный в конце только одной ветви;
- **промежуточный узел:** узел, расположенный на концах более чем одной ветви;
- **смежные узлы:** узлы, соединенные, по крайней мере, одним путём, не содержащим никаких других узлов.

В топологии «шина» (рис. 21) **пропускная способность** канала связи делится между всеми узлами сети. Разрыв линии связи приводит к потере работоспособности сети.

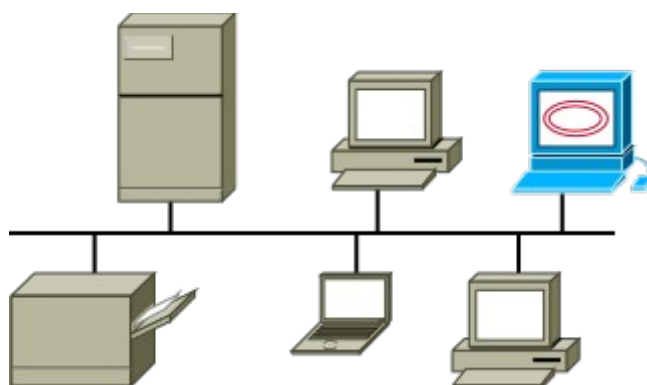


Рис. 21. Сетевая топология «шина»

В настоящее время такие топологии встречаются крайне редко.

Топология «звезда» (рис. 22) является более надежной, чем «шина». В этом случае разрыв одной линии приведет к отключению одного узла, а работоспособность сети в целом сохранится.

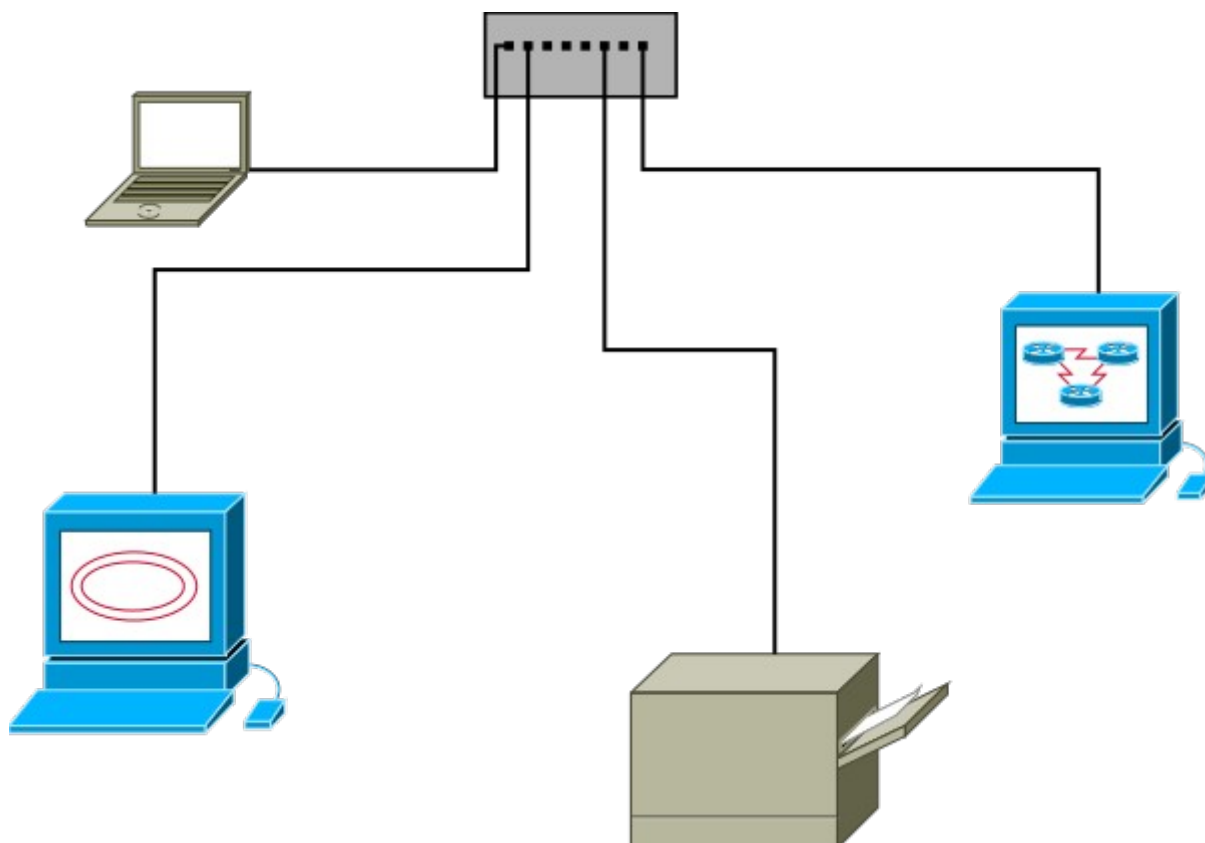


Рис. 22. Сетевая топология «звезда»

По топологии «звезда» организуются сети небольших рабочих групп или подразделений предприятий.

Топология «кольцо» (рис. 23) применяется для сетей, образующих инфраструктуру связи для территориально распределенных систем.

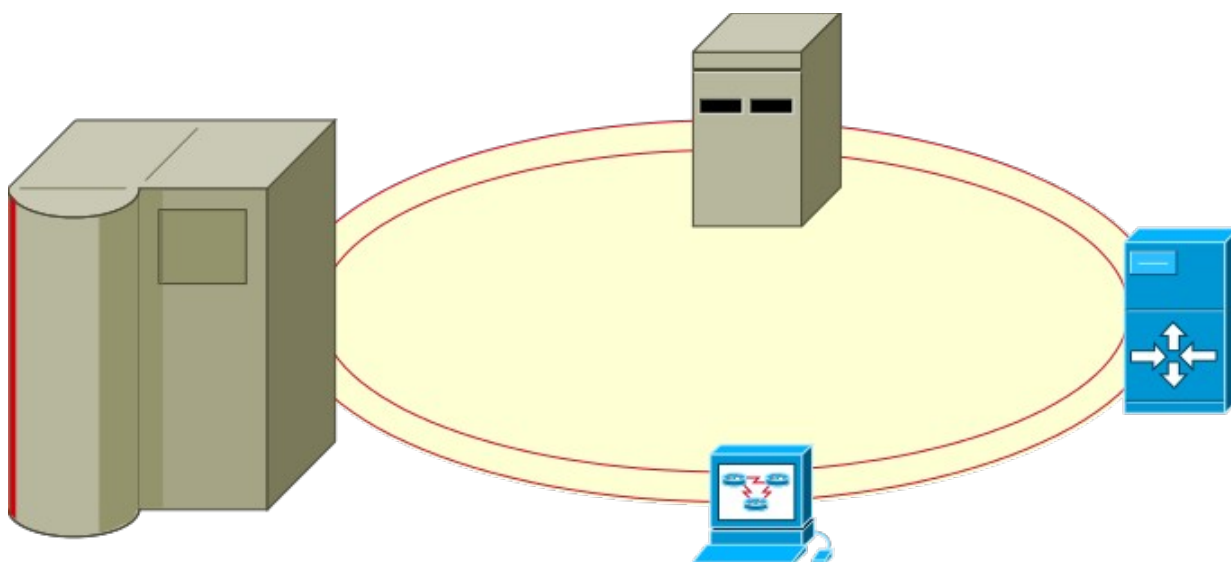


Рис. 23. Сетевая топология «кольцо»

В кольцевых сетях станции и серверы передают информацию в сеть только при получении специального сигнала – «маркера», который передается по кругу. Линии связи для надежности делают двойными (при этом обеспечивается *дуплексный режим* передачи данных).

Топология «дерево» (иерархическая звезда) (рис. 24) используется для организации сложных структурированных сетей. При этом ветви «дерева» образуют сети топологии «звезда».

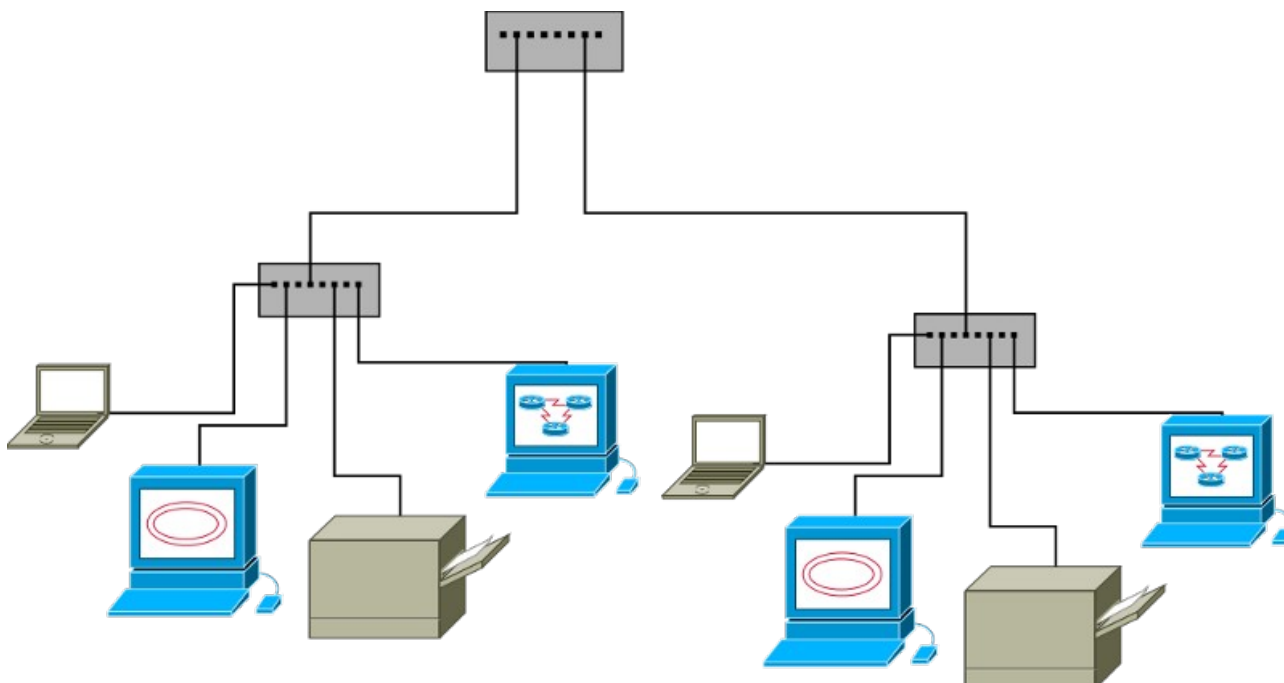


Рис. 24. Сетевая топология «дерево»

По такой схеме устроены все сети предприятий.

«Ячеистая» топология (mesh) (рис. 25) реализуется при соединении различных сетей разнообразными каналами связи. Использование нескольких каналов позволяет обеспечить балансировку нагрузки и повышенную надежность связи, даже если сами каналы являются ненадежными.

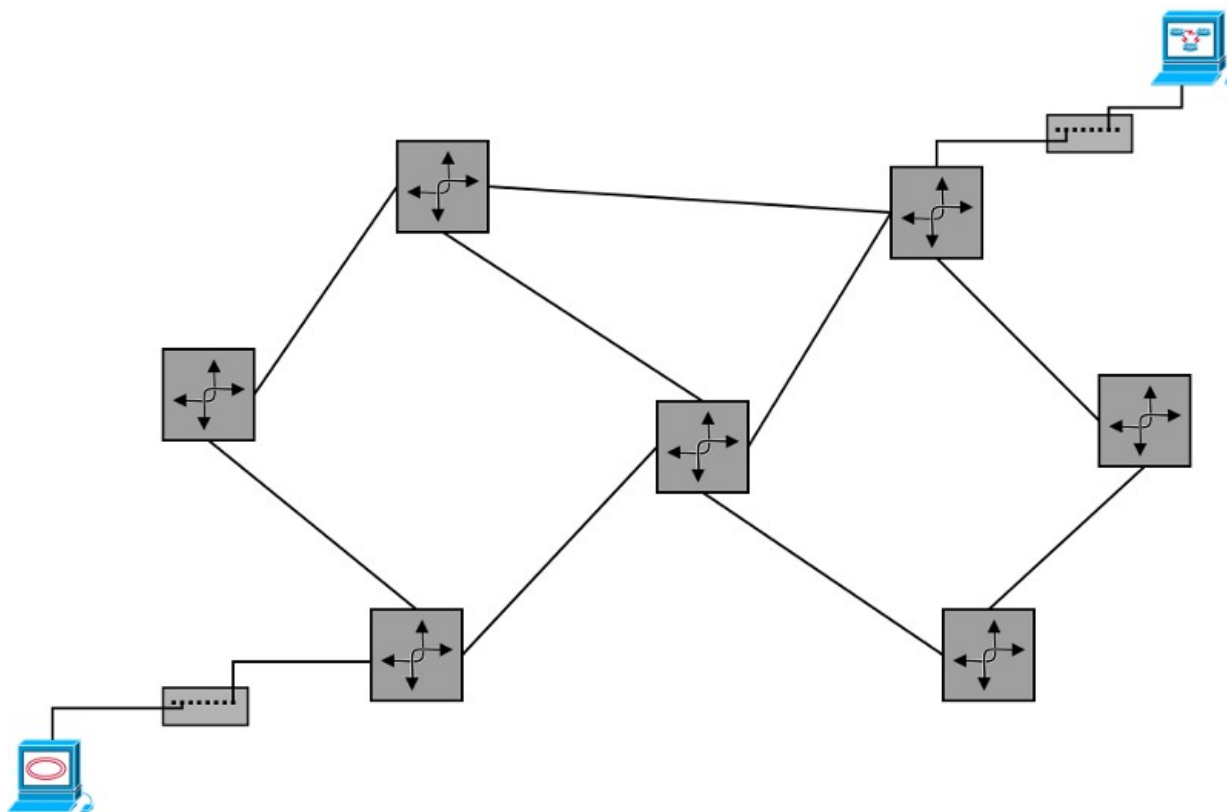


Рис. 25. «Ячеистая» сетевая топология

По такой схеме устроены глобальные компьютерные сети (Internet). Сигнал от одного узла к другому может идти по различным *маршрутам* в различные моменты времени.

## Серверы сети

### Понятие сервера

**Сервер** – обычный или специализированный компьютер, предназначенный для предоставления каких-либо ресурсов (см. раздел «Ресурсы вычислительных систем»). Поскольку сервер должен работать круглосуточно и при повышенной нагрузке, то аппаратные средства сервера создаются более надежными (и следовательно, более дорогими), а также предусматривается резервирование систем электропитания и внешней памяти.

С другой стороны, сервер — это специальный программный комплекс, обеспечивающий предоставление какого-либо ресурса средствами операционной системы.

Таким образом, можно сказать, что сервер — это специализированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий предоставление одного или нескольких видов ресурсов.

## Виды серверов

- Файловый сервер
- Коммуникационный сервер
- Сервер доступа
- Сервер баз данных
- Сервер резервного копирования
- Медиа-сервер
- Почтовый сервер
- Сервер печати
- Сервер сканирования
- Терминальный сервер
- Web-сервер
- Сервер приложений
- Сервер точного времени
- и т.д..

## Авторизация пользователей сети

Для обеспечения **защиты информации** (в широком смысле) для пользователей сетей вводятся **права доступа** (привилегии) к каждому конкретному ресурсу (просматривать/ создавать/ изменять/ удалять/ записывать в). Для удобства организации пользователи объединяются в **группы**, для которых настраиваются **групповые привилегии** (политики). Пользователи автоматически *наследуют привилегии своей группы*, поэтому нет необходимости настраивать права для каждого пользователя, достаточно объявить, в какую группу он входит (если нужно, права пользователя могут быть настроены индивидуально).

**Авторизация** - это способ объявления вычислительной системе, что её ресурсами желает воспользоваться пользователь с определенными привилегиями. Для каждого пользователя создается **учетная запись** (account). Параметрами учетной записи являются **имя пользователя (login)**, **пароль**, **домашний каталог (home directory)** и **профиль** (набор настроек программного окружения).

## **Локальная авторизация**

Пользователь **идентифицируется** по имени и паролю **на конкретной станции сети** (узле). На этом узле размещается его домашний каталог и профиль. Доступ к ресурсам сети возникает в соответствии с разрешениями, зафиксированными групповой политикой и профилем. Если на другом узле сети нет учетной записи для этого пользователя, он не сможет пользоваться ресурсами такого узла.

## **Централизованная авторизация**

Все учетные записи и профили пользователей создаются на **сервере авторизации**. Пользователь может авторизоваться на любой станции сети, операционная система которой обращается к серверу за подтверждением наличия такого пользователя. Домашний каталог может создаваться либо на сервере, либо на конкретной станции (в зависимости от принятых политик). Таким образом, пользователь может работать с любого узла сети.

В Единой автоматизированной информационной системе таможенных органов (ЕАИС ТО) используется централизованная авторизация в доменной структуре в соответствии с организационной структурой таможенных органов — доменная система единой структуры каталогов (ДС ЕСК) ЕАИС ТО.

## **Адресация в компьютерных сетях**

В компьютерной сети компьютеры обмениваются информацией (пакетами) друг с другом. Чтобы передавать и принимать пакеты, нужно знать отправителя и получателя. Способ указания отправителя и получателя информации называется **адресацией**.

### **Можно выделить следующие виды адресации**

- физическая (практически всегда глобальная)
- логическая (локальная и глобальная).

**Физические адреса** являются машиночитаемыми (числовыми).

**Логические адреса** могут быть машиночитаемые (числовые) и человекочитаемые (символьные).

### **Физическая адресация**

**Физический адрес** – адрес физического интерфейса для **протоколов канального уровня** (Ethernet, FDDI, WiMAX ...). Теоретически является глобально уникальным.

Состоит из 48 битов (6 байтов), 12 цифр в 16-ричной системе счисления (например, *8a:44:c5:94:04:00*).

Устанавливается двумя способами:

- В постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) адаптера узла сети
- Программным путем при инициализации адаптера узла сети

### Локальные логические адреса

Логический локальный адрес присваивается компьютеру при настройке сетевого программного обеспечения. Этот адрес позволяет пользователям, работающим в сети, различать компьютеры.

В современных локальных сетях логический адрес представляет собой комбинацию букв и цифр и является **сетевым именем** компьютера (например, МКС-09).

Сетевое имя обычно связывается с конкретным рабочим местом (ролью рабочего места) и не зависит от компьютера, который установлен на этом рабочем месте. Таким образом, изменение аппаратных средств на рабочих местах пользователей локальной сети не влияет на работу других пользователей этой сети.

Для локальных сетей ПК в начале 90-х годов XX века IBM разработала протокол NetBEUI (NetBIOS Extended User Interface) для транспортного уровня сетевого стека **LAN Manager** (операционные системы IBM OS/2, потом Microsoft Windows for Workgroups и Microsoft WindowsNT). NetBEUI можно было эффективно использовать только в небольших локальных сетях (IBM разработала протокол NetBEUI для локальных сетей, содержащих до 200 рабочих станций). Протокол NetBEUI не маршрутизируемый, он не позволяет создавать глобальные сети, объединяя несколько локальных сетей.

Для протокола NetBEUI было введено понятие «Рабочая группа» (Workgroup). Сетевые имена должны быть уникальными в пределах рабочей группы. Первоначально ПК из различных рабочих групп не имели доступа друг к другу.

В настоящее время локальная логическая адресация поддерживается в «Службе доступа к файлам и принтерам сети Microsoft» (протокол NetBIOS over TCP/IP) и сервисами «Samba/CIFS» в POSIX-совместимых ОС. Рабочие группы являются «прозрачными» (ПК из различных рабочих групп имеют доступ друг к другу).



## Глобальная логическая адресация

В настоящее время существует единая система глобальной логической адресации, определяемой протоколом TCP/IP.

Адресация определяется на межсетевом уровне стека протоколов TCP/IP, параллельно существуют адреса IPv4 и IPv6.

IP-адрес – логический адрес, который записывается числами.

### Адреса IPv4

В версии IPv4 адрес состоит из 4-х чисел в десятичной системе, разделенных точками, например – **13.34.56.78**.

Каждое число, кроме первого, может принимать значения от 0 до 255, первое число не может быть 0. Таким образом, для IP-адреса в этом случае выделяется 4 байта.

Все возможные комбинации значений дают более 4 млрд. адресов.

$$2^8 \times 2^8 \times 2^8 \times 2^8 \Rightarrow 2^{32}$$

Однако существующие правила формирования IP-адресов ограничивают возможное количество адресов – получается менее 1 млрд.

Все возможные адреса разделяют на 4 класса адресов (сетей), которые отличаются друг от друга.

Классы сетей определяются:

- возможными значениями первого числа IP-адреса
- количеством чисел IP-адреса, выделенных для номера сети и номера компьютера.

Если обозначить буквой **N** «сетевую» часть IP-адреса, а буквой **C** «компьютерную» часть адреса, то можно составить определения классов.

- **Класс А:** 1-е число принимает значения в диапазоне от 1 до 126, структура адреса – **N.C.C.C**. Может быть 126 сетей класса А, но в каждой из них более 16 млн. адресов. Пример IP-адреса: **123.45.6.78**

- **Класс В:** 1-е число принимает значения от 128 до 191, структура адреса – **N.N.C.C**. Возможно  $63 \times 256 = 16128$  сетей класса В, а в каждой из них  $256 \times 256 = 65536$  адресов. Пример IP-адреса: **131.220.11.98**

- **Класс С:** 1-е число принимает значения от 192 до 223, структура адреса – **N.N.N.C**. Возможно  $31 \times 256 \times 256 = 2031616$  сетей класса С, но в каждой из них – максимум 256 адресов. Пример IP-адреса: **220.123.45.6**

## Особые адреса IPv4:

- **Класс D:** 1-е число принимает значения от 224, адреса этого класса не включаются в DNS
- **Адрес 127.0.0.1:** внутренний адрес сетевого адаптера, который присваивается ему автоматически при настройке программного обеспечения для работы по протоколу TCP/IP
- Группы адресов «частных сетей»:
  - Класс A: 10.0.0.0 – 10.255.255.255
  - Класс B: 172.16.0.0 – 172.31.0.0
  - Класс C: 192.168.0.0 – 192.168.255.0

Все эти адреса не назначаются компьютерам, реально работающим в Internet, и тем самым число возможных адресов еще больше ограничивается.

## Динамические адреса IPv4

Для каждого компьютера, работающего по протоколу TCP/IP, должен быть назначен IP-адрес. Однако это не означает, что адрес должен быть все время один и тот же.

**Статический адрес** (постоянный) назначается тем компьютерам, к которым должен быть постоянный доступ (серверам).

**Динамический адрес** (временный) можно назначать компьютерам, которые только пользуются какими-то возможностями (службами) сетей.

Для назначения статических адресов нужно настраивать ПО на каждом компьютере.

Для назначения динамических адресов создается специальный сервер адресов, который в соответствии с протоколом **DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol) выделяет адреса остальным компьютерам сети в момент загрузки ОС на этих компьютерах.

Использование DHCP является обоснованным в следующих случаях:

- В больших (корпоративных) сетях для упрощения управления компьютерами (не производится настройка ПО и установка IP-адресов для каждого компьютера сети)
- При сеансовом подключении к сети (dial-up) для всех видов модемов (экономия адресов). Пока клиент не подключился, ему адрес не нужен. Когда клиент отключился, адрес освобождается и может быть использован кем-то другим.
- В «домашних» сетях для упрощения подключения.

## Адресация IPv6

Поскольку адресация IPv4 ограничивает количество узлов в сети, предложено увеличить длину адреса с 4 байтов (32 бита) до 16 байтов (128 битов).

В новой системе адреса записываются числами в шестнадцатеричной системе группами до 4 чисел (до 16 битов), разделитель – двоеточие.

Существуют также полная и сокращенная формы записи.

- **Полная форма: 108В:0:0:0:8:800:200С:417А**
- **Сокращенная форма: 108В::8:800:200С:417А**

Последовательность «::» заменяет несколько нулевых групп.

В адресации IPv6 классы в понятии IPv4 отсутствуют.

Для обеспечения совместимости пространства адресов IPv6 и IPv4 приняты следующие соглашения:

- **127.0.0.1 => 0:0:0:0:0:0:0:1 (:::1)** – «внутренний» адрес любого узла.
- **192.168.10.3 ==> 0:0:0:0:FFFF:192.168.10.3 (::FFFF:192.168.10.3)** – адрес пользовательского компьютера.

Процесс перехода на IPv6 требует обновления ПО всех узлов Интернет, формирующих инфраструктуру, поэтому проходит медленно (эволюционным путём).

## Глобальная логическая адресация DNS

Адреса IP являются машиночитаемыми, но не человекочитаемыми (особенно IPv6).

Поэтому была создана ещё одна система адресации (символьная) и обеспечено сопоставление символьных имен и числовых адресов.

Специальное ПО, которое занимается этим сопоставлением, называется «служба доменных имён» – DNS.

Все пространство Internet делится на области (домены, зоны) по принадлежности или по территории (стране).

Каждая зона имеет символьное имя. Имя для территориального домена (страны) – 2 символа, для домена по принадлежности – 3-4 символа. Это домены (зоны) первого уровня.

Внутри каждой зоны первого уровня происходит такое же деление (рис. 26), но нет ограничений на длину имени.

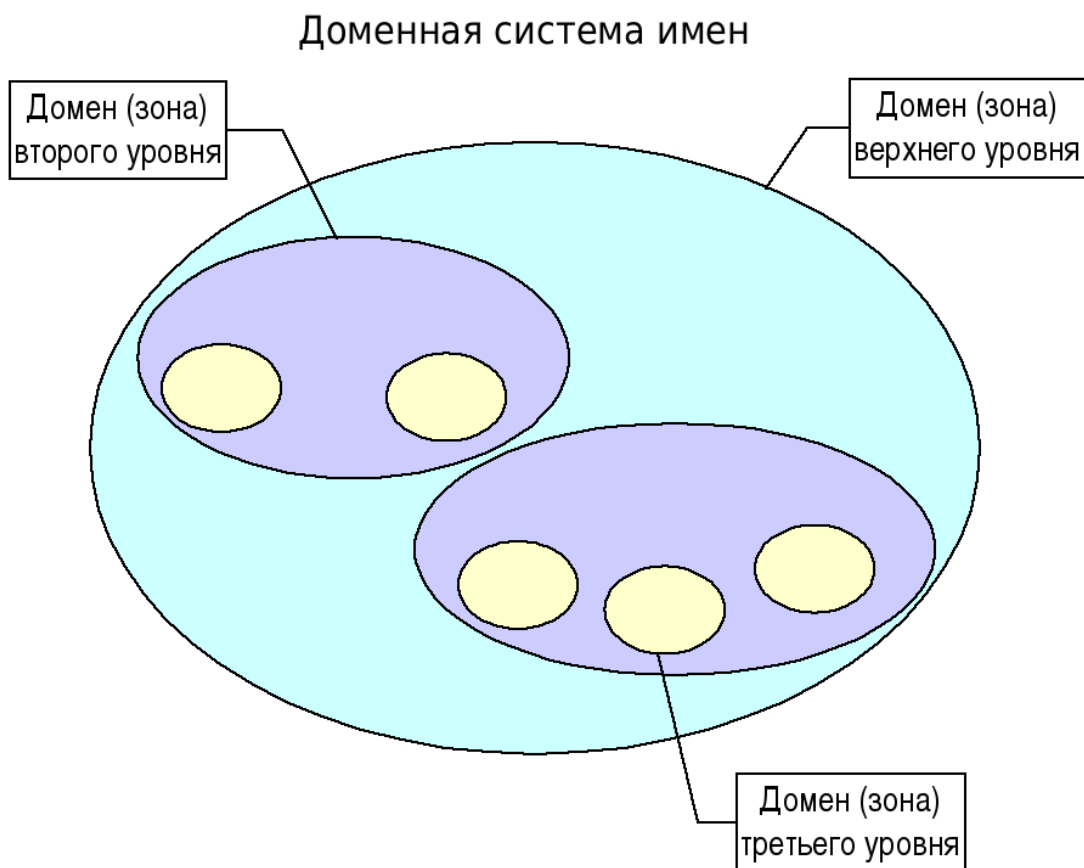


Рис. 26. Принцип построения доменной системы имен

### Полное доменное имя

Полное доменное имя строится из последовательности имен зон в порядке вложенности, разделенных точками, например **vot.nas.tam.net**.

Самая левая часть – имя конкретного компьютера (узла) – vot. Самая правая часть – имя домена верхнего уровня – net

В промежутке – имена доменов по уровням вложенности.

Один и тот же узел может иметь несколько доменных имен (например: **pochta.ru = fromru.com = pisem.net = mailru.com**), а может при одном доменном имени иметь несколько IP-адресов (если он сервер Internet).

В 2010 г. некоммерческая организация ICANN (Интернет-корпорация по управлению доменными именами и цифровыми адресами в Интернете) разрешила четырём странам использовать в именах доменов национальные кодировки.

Первые страны, которые получили право (и возможность) создавать домены в национальных кодировках — Саудовская Аравия, Египет, Россия, ОАЭ.

В мае 2010 г. начала работать зона **рф**.

Применение имён доменов в национальных кодировках имеет явные достоинства, в частности, отсутствие необходимости переключения раскладок и расширение пространства «имён».

В то же время исключительно использование национальных алфавитов при именовании информационных ресурсов приводит к ещё большему снижению культуры пользователей, создает технологические проблемы перекодирования и обновления браузеров, почтовых программ и ПО серверов DNS, а также влечет за собой изоляцию сегментов глобальной сети друг от друга.

### **Адресация ресурсов и пользователей**

Для унификации адресации ресурсов и пользователей в глобальных вычислительных сетях введены два вида идентификаторов:

- **URL** – универсальный указатель ресурса.
- **URI** – универсальный идентификатор ресурса.

Варианты URL:

- <http://www.ifmo.ru> – протокол HTTP, адрес сайта
- <ftp://ftp.altlinux.ru> (равносильно <ftp://anonymous@ftp.altlinux.ru>) – протокол FTP, ресурс для «скачивания» файлов
- <mailto:amin@site.me> – служба электронной почты

Пользователи указываются по наличию учетной записи на каком-либо узле сети: [vova@mysite.com](mailto:vova@mysite.com) (адрес электронной почты).

### **Служба (сервис) WHOIS**

WHOIS – сетевой протокол прикладного уровня, базирующийся на протоколе TCP. Предназначен для получения регистрационных данных о владельцах доменных имён, IP-адресов и автономных систем.

Протокол используется для доступа к публичным серверам баз данных (БД) **регистраторов IP-адресов** и **регистраторов доменных имён**. Регистраторы доменных имен создают поисковые веб-формы, доступные пользователям на многих сайтах в Интернете.

### **Управление Интернетом**

В задачи управления Интернетом входят:

- Распределение адресов сетей
- Распределение доменных имен

Структура управления имеет иерархический характер:

- Международные организации (ICANN, IANA) — верхний уровень
- Региональные регистраторы (в России – RU.Center)
- Провайдеры Интернет
- Администраторы сетей в организациях.

В Единой автоматизированной информационной системе таможенных органов (ЕАИС ТО) используется адресация IPv4 и адресация в домене customs.ru с именами доменов третьего уровня, соответствующими элементам организационной структуры.

## Прикладной уровень TCP/IP

С каждым протоколом прикладного уровня (сервисом, службой) стека протоколов TCP/IP связан некоторый числовой идентификатор, который используется в заголовке пакета (вместе с IP-адресом узла) для адресации конкретного приложения (и конкретного, принадлежащего ему, сетевого соединения). Такой идентификатор называется «номер порта» или просто «порт». (*Говорят «служба X работает на порту N».*)

Наиболее часто используемые порты приведены в таблице ниже.

| Номер порта | Служба, протокол                                                                                   |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21          | FTP – протокол передачи файлов (File Transfer Protocol)                                            |
| 22          | SSH – защищённый протокол удалённого управления (Secure SHell)                                     |
| 23          | TELNET – незащищённый протокол удалённого управления (используется крайне редко)                   |
| 25          | SMTP – протокол передачи почты почтовыми агентами (Simple Mail Transfer Protocol)                  |
| 53          | DNS – протокол обмена для службы доменных имён (Domain Name Service)                               |
| 80          | HTTP – протокол обмена между браузерами и web-серверами (Hyper Text Transfer Protocol)             |
| 110         | POP3 – протокол взаимодействия почтового сервера и клиента (Post Office Protocol v3)               |
| 139         | NetBIOS-SSN – протокол службы доступа к файлам и принтерам сети Microsoft (Samba)                  |
| 143         | IMAP – протокол взаимодействия почтового сервера и клиента (Internet Mail Access Protocol v2 и v4) |

| Номер порта | Служба, протокол        |
|-------------|-------------------------|
| 443         | HTTPS – Защищённый HTTP |
| 465         | SMTPS – Защищённый SMTP |
| 993         | IMAPS – Защищённый IMAP |
| 995         | POP3S – Защищённый POP3 |

## Сервисы и серверы

В данном случае **сервер** – программный комплекс, обеспечивающий работу сетевого сервиса (т.е. обрабатывающий запросы на какой-либо порт).

Наиболее часто используемые сервисы и соответствующее серверное ПО приведены в таблице ниже.

| Служба, протокол                                                                                          | ПО сервера                                   | Условия распространения |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
| <b>FTP</b> – протокол передачи файлов (File Transfer Protocol)                                            | WuFTPd, vsftpd                               | Свободное ПО            |
|                                                                                                           | Microsoft Internet Information Service (IIS) | Несвободное ПО          |
| <b>SSH</b> – защищённый протокол удалённого управления (Secure SHell)                                     | OpenSSH                                      | Свободное ПО            |
| <b>SMTP</b> – протокол передачи почты почтовыми агентами (Simple Mail Transfer Protocol)                  | postfix, exim, sendmail                      | Свободное ПО            |
|                                                                                                           | Microsoft Exchange Server                    | Несвободное ПО          |
| <b>POP3</b> – протокол взаимодействия почтового сервера и клиента (Post Office Protocol v3)               | pop3d, dovecot                               | Свободное ПО            |
|                                                                                                           | Microsoft Exchange Server                    | Несвободное ПО          |
| <b>IMAP</b> – протокол взаимодействия почтового сервера и клиента (Internet Mail Access Protocol v2 и v4) | Cyrus-IMAP, dovecot                          | Свободное ПО            |
|                                                                                                           | Microsoft Exchange Server                    | Несвободное ПО          |
| <b>HTTP</b> – протокол обмена между браузерами и web-серверами (Hyper Text Transfer Protocol)             | Apache Web Server, lighthttpd, nginx         | Свободное ПО            |
|                                                                                                           | Microsoft Internet Information Service (IIS) | Несвободное ПО          |
| <b>DNS</b> – протокол обмена для службы                                                                   | BIND (named)                                 | Свободное ПО            |

| Служба, протокол                                                          | ПО сервера                                  | Условия распространения |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|
| доменных имён (Domain Name Service)                                       | Microsoft Internet Information Server (IIS) | Несвободное ПО          |
| NetBIOS-SSN – протокол службы доступа к файлам и принтерам сети Microsoft | Samba                                       | Свободное ПО            |

## Межсетевые экраны

**Межсетевой экран** (брандмауэр, firewall) – программное средство, работающее на *компьютере-шлюзе* или на *сервере доступа*, позволяющее запретить доступ к определённым портам (т.е. по определённым протоколам) шлюза или сети, находящейся за шлюзом. Может также разрешать доступ к определённым портам некоторых узлов за шлюзом при условии прохождения пакетов именно через этот шлюз («проброс портов»).

Для межсетевого экрана создаются **правила**, описывающие для каких адресов какие порты следует закрыть или открыть.

Пример правил:

- Запретить обращение к порту 23 данного узла с любых адресов («закрыть порт для Telnet»)
- Запретить обращение к порту 22 данного узла с любых адресов («закрыть порт для SSH»)
- Разрешить обращение к порту 22 данного узла с адресов внутренней сети 192.168.1.0/24

*Обычно правила работают по «логическому И», последующее уточняет предыдущее, однако для разных реализаций принципы создания правил могут отличаться.*

Часто МСЭ встраиваются в сетевые устройства или делаются в виде специализированных программно-аппаратных комплексов.

## Протоколы защищенной связи

Для защищенной связи в системах коммуникаций используются семейства протоколов SSL и IPSec.

**SSL (англ. Secure Sockets Layer – уровень защищённых сокетов)** – криптографический протокол, который обеспечивает безопасность связи. В SSL используется асимметричная криптография для обмена ключами и симметричное шифрование для сохранения конфиденциальности.



Описывается спецификациями **RFC 2246** (англ.) и **RFC 2246** (рус.), работает на **прикладном уровне** стека TCP/IP (HTTPS, IMAPS, POP3S).

Если клиент и сервер решили использовать SSL, клиент обращается с запросом на соединение, а сервер посылает клиенту запрос на сертификат. Клиент подтверждает свою подлинность с помощью сертификата, после чего происходит обмен ключами симметричного шифрования для установки безопасного соединения. Клиент и сервер используют сеансовые ключи для шифрования и расшифрования данных, которые они посылают друг другу.

В SSL **шифруются данные**, из которых потом на транспортном уровне формируются пакеты.

**IPsec** (сокращение от **IP Security**) – набор протоколов для обеспечения защиты данных, передаваемых по межсетевому протоколу IP. Позволяет осуществлять подтверждение подлинности (аутентификацию), проверку целостности и/или шифрование IP-пакетов. IPsec также включает в себя протоколы для защищённого обмена ключами в сети Интернет.

Описывается спецификациями **RFC 2401 ... RFC 2412**. Работает на **межсетевом уровне** стека TCP/IP. Для подтверждения взаимной подлинности участников обмена данными и обмена секретными ключами используется **Internet Security Association and Key Management Protocol (ISAKMP)**.

IPsec может функционировать в двух режимах: **транспортном и туннельном**.

В **транспортном режиме** шифруются (или подписываются) только данные IP-пакета (дейтаграмма), исходный заголовок сохраняется. Транспортный режим как правило используется для установления соединения между узлами сети.

В **туннельном режиме** шифруется весь исходный IP-пакет: данные, заголовок, маршрутная информация, а затем он вставляется в поле данных нового пакета, то есть происходит *инкапсуляция*. Туннельный режим может использоваться для подключения удалённых компьютеров к **виртуальной частной сети** или для организации безопасной передачи данных через открытые каналы связи (например, Интернет) между шлюзами для объединения разных частей виртуальной частной сети.

## **Магистральные сети коммуникаций**

**Магистральная сеть связи** – транспортная телекоммуникационная инфраструктура для предоставления услуг связи. Как правило, магистральная сеть связи выстраивается на собственных или

арендованных волоконно-оптических линиях с использованием *канального оборудования связи*.

В состав канального оборудования входят

- Маршрутизаторы
- Мультиплексоры SDH/PDH

**Мультиплексор** – устройство (или программа), позволяющая передавать по одной коммуникационной линии или каналу передачи одновременно несколько различных потоков данных. В оптических каналах связи это обеспечивается с помощью пучков света с разными длинами волн и **дифракционной решетки**.

Технология передачи данных по большому числу каналов с использованием одного оптического волокна называется **DWDM** (плотное спектральное уплотнение, *dense wavelength-division multiplexing*).

**SDH (Synchronous Digital Hierarchy)** – стандарт для транспорта трафика в точках обмена трафиком (потоками данных) при соединении магистральных и местных каналов связи (*Internet Exchange – IX*).

SDH – термин, используемый в Европе. В США и Японии такая технология называется **SONET (Synchronous Optical NETwork)**

Основная скорость передачи – 155,250 Мбит/с (STM-1). Более высокие скорости определяются как кратные STM-1: STM-4 - 622 Мбит/с, STM-16 - 2488,32 Мбит/с, STM-64 - 9953,28 Мбит/с. (*STM – Synchronous Transport Module*).

Сложные сети обычно имеют многоуровневую структуру. Первый уровень – оборудование доступа пользователей. Этот уровень состоит из оборудования «последней мили» и, как правило, из мультиплексоров STM-1. Оборудование «последней мили» отвечает за доведение сигнала пользователей до мультиплексоров первого уровня. В роли оборудования «последней мили» обычно выступают так называемые оптические модемы, по сути являющиеся конверторами электрического сигнала в оптический и обратно. Мультиплексоры первого уровня собирают каналы пользователей для дальнейшей транспортировки. Следующий уровень могут составлять мультиплексоры уровня STM-4 и STM-16.

Основные операторы магистральных телекоммуникационных сетей в России перечислены в таблице ниже.

| N | Оператор         | Сеть, тыс. км |
|---|------------------|---------------|
| 1 | Ростелеком       | 500           |
| 2 | МегаФон+Синтерра | 118           |

| N  | Оператор                            | Сеть, тыс. км |
|----|-------------------------------------|---------------|
| 3  | МТС                                 | 117           |
| 4  | ВымпелКом                           | 136,6         |
| 5  | ТрансТелеКом                        | 75            |
| 6  | Старт Телеком                       | 16            |
| 7  | Orange Business Services            | 8,5           |
| 8  | Раском                              | 6             |
| 9  | RetnNet                             | 5,7           |
| 10 | ТелиаСонера Интернэшнл Кэрриер Раша | 2             |

## Оборудование для организации сетей

Оборудование для компьютерных сетей в соответствующем контексте называется также «коммутационное» или «коммуникационное» оборудование. Выделяются следующие виды оборудования:

- Концентраторы (практически не используются)
- Мосты
- Коммутаторы
- Маршрутизаторы (роутеры)
- Шлюзы

**Сетевой мост** – устройство **канального** уровня модели OSI/RM. Обеспечивает связь двух подсетей (*сегментов*) с одинаковой *системой логической адресации*. Сетевой мост выполняет следующие функции:

1. Мост передает пакеты из одного сегмента в другой, если адресат (*физический адрес адаптера назначения*) находится в другом сегменте сети. Если адресат находится в том же сегменте, что и отправитель пакета, мост не пропускает пакет в другие сегменты.
2. Мост позволяет объединить сегменты с различными *средами передачи данных* (например, сегмент «витой пары» и беспроводной сегмент).
3. Мост не передает в другие сегменты ошибочные пакеты (слишком длинные, слишком короткие, пакеты коллизий).

**Коммутатор** — устройство **канального** уровня модели OSI/RM. Обеспечивает связь двух и более подсетей (*сегментов*) с одинаковой *системой логической адресации* («Коммутатор уровня 2»).

Современные коммутаторы имеют выделенные **высокоскоростные порты**, позволяющие создавать *магистральный (опорный) сегмент* в сети предприятия (*backbone*).

## Управляемые коммутаторы

**Управляемые коммутаторы** чаще всего используются для **сегментации сети**. Различные группы узлов (*хостов*) объявляются принадлежащими различным **виртуальным локальным сетям (VLAN)**. Хосты из различных VLAN не имеют связи друг с другом. Один или несколько портов коммутатора объявляются **транковым (trunk, tagged port)** – входящим в несколько VLAN. Через этот порт хосты из разных VLAN могут получать связь с сервером или другими сетями.

Сегментация может осуществляться

- По портам коммутатора (коммутаторы уровня 2, Level 2 Switch)
- По протоколам сетевого уровня (узлы, работающие по разным протоколам, автоматически недоступны друг для друга)
- По данным аутентификации пользователя или узла (имя, пароль, ключи).

В стандарте **IEEE 802.1Q** определены дополнительные биты в сетевом пакете 2-го уровня (кадре) для указания номера VLAN.

Управление (в большинстве случаев) осуществляется при посредстве встроенного web-сервера (с помощью браузера).

**Коммутаторы уровня 3 (Level 3 Switch)** анализируют не физические адреса, а сетевые (как правило, адреса IP). Все остальное - аналогично Level 2 Switch.

**Коммутаторы уровня 4 (Level 4 Switch)** анализируют не сетевые адреса, а транспортные («порты») протоколов TCP и UDP). Это позволяет снять часть нагрузки с серверов и межсетевых экранов.

## Маршрутизаторы

**Маршрутизаторы (роутеры)** – устройства 3 и 4 уровней модели OSI/RM.

Виртуальные частные сети обеспечивают поддержку различных протоколов, в особенности на прикладном уровне.

Роутер соединяет несколько IP-сетей, обеспечивает распределение TCP-пакетов по линиям с наименьшей загрузкой.

Современные роутеры имеют дополнительные функции **ДНСР-сервера, межсетевого экрана и трансляции локальных адресов (NAT)**.

Управление и настройка (в большинстве случаев) осуществляется при посредстве встроенного web-сервера (с помощью браузера).

## **Шлюзы**

**Шлюз** – программно-аппаратный комплекс, работающий на прикладном уровне, обеспечивает связь сетей. Шлюз обеспечивает выполнение нескольких функций, а именно

1. маршрутизация
2. разграничение передачи пакетов различных протоколов (межсетевой экран)
3. трансляция пакетов протоколов HTTP и FTP через определенный интерфейс («прокси-сервер»)
4. сегментация (разделение сетей) с помощью нескольких сетевых интерфейсов.

В Единой автоматизированной информационной системе таможенных органов (ЕАИС ТО) ведомственная интегрированная телекоммуникационная сеть (ВИТС) построена на каналах связи, арендуемых у магистральных операторов с использованием управляемых коммутаторов и другого сетевого оборудования. Для организации связи с участниками ВЭД используются специально выделенные шлюзы и межсетевые экраны, образующие автоматизированную систему внешнего доступа (АСВД) ЕАИС ТО.

## **Задания для самостоятельной работы**

Подготовить письменное сообщение (эссе) по указанному преподавателем варианту заданий из приведенного ниже списка. При подготовке сообщения выписать термины и сокращения, дать их объяснение и расшифровку.

1. Открытые системы как технологическая необходимость. Свойства открытых систем. Открытые спецификации и открытые интерфейсы.
2. Модель OSI/RM. Стандарты, определяющие данную модель. Уровни модели.
3. Интерфейсы и протоколы в модели OSI/RM. Понятие межпрограммных интерфейсов.
4. Физический и канальный уровни модели OSI/RM. Реализация взаимодействия на физическом и канальном уровне. Физическая адресация.
5. Сеансовый и сетевой уровни модели OSI/RM. Логическая адресация. Варианты логических адресов.

6. Транспортный уровень модели OSI/RM. Понятие «пакета». Способы контроля целостности пакетов. Протоколы TCP и UDP.
7. Логическая адресация IPv4. Принципы организации. Классы сетей и маски адресов. Частные сети. Адресация IPv6. Преобразование адресов.
8. Уровень представления и прикладной уровень модель OSI/RM. Понятие сетевого сервиса (службы). Порты протокола TCP/IP.
9. Физические принципы передачи электромагнитных сигналов. Понятия полного внутреннего отражения, волновода, спектра сигнала, дисперсии и затухания.
10. Модуляция электромагнитных сигналов. Виды модуляции. Применимость различных видов модуляции при передаче сигналов различной природы. Широтно-импульсная модуляция. Назначение, виды и особенности модемов.
11. Стандарты Ethernet. Характеристики проводных и беспроводных каналов связи. Принцип работы протокола CSMA/CD. Достоинства и ограничения технологии Ethernet.
12. Маркерные стандарты компьютерных сетей (TokenRing, ArcNet, FDDI). Особенности протоколов передачи данных. Применимость стандартов в современных условиях. Производители оборудования.
13. Понятие контрольной суммы пакета. Алгоритмы вычисления контрольных сумм. Доказательства однозначности контрольной суммы.
14. Размеры пакетов Ethernet, UDP и TCP. Информация, добавляемая при формировании TCP-пакетов. Способы проверки целостности TCP-пакетов.
15. Понятие топологии сети. Варианты топологий и среды передачи данных. Современные топологии локальных сетей. Понятие «backbone».
16. Варианты адресации в локальных сетях. Логические адреса. Адресация в сетях Novell Netware и Microsoft Windows. Адресация NetBIOS. Правила создания сетевых имен. Ограничения локальной адресации.
17. Физические адреса. Формирование физических адресов. Физический адрес в сетевом пакете Ethernet. Концентраторы и коммутаторы.

18. Коммутация сетевых пакетов. Коммутаторы уровня 2, 3 и 4. Характеристики коммутаторов. Основные производители. Управляемые и неуправляемые коммутаторы.
19. Понятие сегмента сети. Сегментация сети с помощью коммутаторов. VLAN — назначение, способы создания, варианты использования.
20. Характеристики локальных сетей. Протяженность локальных сетей. Схемы локальных сетей. Понятие « сетевого моста ».
21. Понятие « глобальной вычислительной сети ». Топологии глобальных сетей. Каналы связи в глобальных сетях. Магистральные сети передачи данных.
22. Стек протоколов TCP/IP и семиуровневая модель OSI/RM. Соотношение уровней. Организационные принципы назначения IP-адресов.
23. Доменная система имен. Нормативные документы и регуляторы назначения имен доменов. Домены в национальных кодировках. Понятия URL и URI, варианты написания, использование.
24. Маршрутизация в глобальных сетях. Принципы маршрутизации. Роутеры: назначение, характеристики, использование.
25. Шлюзы и прокси-серверы. Характеристики, разновидности. Варианты использования
26. Сети ADSL и HDSL. Требуемое оборудование, организация передачи данных. Протокол X.25.

## **Беспроводные сети**

### **Семейство стандартов сетей Wi-Fi**

Wi-Fi описывается стандартами IEEE 802.11.

- 802.11a – несущая частота 5 ГГц, скорость до 54 Мб/с
- 802.11b – несущая частота 2,4 ГГц, скорость до 11 Мб/с
- 802.11g – несущая частота 2,4 ГГц, скорость до 54 Мб/с
- 802.11n – несущие частоты 2,4-2,5 или 5 ГГц, скорость до 600

Мб/с (Используется в маршрутизаторах (роутерах) корпоративного класса, работает с устройствами 802.11a/b/g)

На **физическом уровне** в беспроводных сетях используются радиоволны с широтно-импульсной модуляцией.

На **канальном уровне** в зависимости от варианта стандарта применяются различные варианты формирования сигналов в выбранном частотном диапазоне (модуляция, кодирование и пр.).

## **Режимы работы сетей Wi-Fi**

Для организации сетей Wi-Fi требуется следующее оборудование:

- Wi-Fi адаптер
- Точка доступа (Access Point)

Беспроводные соединения могут осуществляться в следующих режимах:

- Прямое соединение (Ad-hoc)
- Стандартный режим (клиент – точка доступа)
- Беспроводной мост (две точки доступа)

**При прямом соединении (Ad-hoc)** не используются коммутационные устройства. Адаптеры (клиенты) соединяются друг с другом на основе указания сетевого имени.

Выбор маршрута прохождения сигналов в пределах общей сети осуществляется динамически (по самому сильному «ответу»). Такие сети называют «самоорганизующимися».

Могут использоваться не только для Wi-Fi, но и для других беспроводных соединений. Например, при достаточно большом количестве пользователей мобильных телефонов сотовая сеть становится не нужна, сигнал может проходить и ретранслироваться через аппараты других пользователей.

Сети Ad-hoc становятся очень востребованы в ЧС, когда элементы инфраструктуры (ретрансляторы, точки доступа и пр.) лишаются питания.

Передачи по таким сетям очень трудно контролировать.

**В стандартном режиме работы Wi-Fi** точка доступа является DHCP-сервером (в противном случае точка доступа и беспроводные адаптеры должны иметь разные статические адреса). При этом одна точка доступа может поддерживать до 8 клиентов (имеет значение вариант протокола клиента и вариант протокола точки доступа).

Незашифрованная (открытая) точка доступа называется **Hot Spot**.

Важно, что варианты шифрования трафика и формирования пароля должны быть согласованы между точкой доступа и клиентом.

**Беспроводной мост** используется при невозможности организации проводного соединения. Расстояние между точками составляет от сотен



метров до километров. При этом обоим беспроводным адаптерам точек доступа назначается один и тот же статический адрес IP.

## **Беспроводные сети WiMAX**

Особенности WiMAX описаны в стандарте IEEE 802.16/

Изначально стандарт IEEE 802.16 описывал связь на частотах от 10 до 66 ГГц, поэтому для связи требовалась «прямая видимость».

Более поздняя модификация – IEEE 802.16a – перешла в частотный диапазон от 2 до 11 ГГц.

Реализации WiMAX (**Wireless LAN**) – 802.16d (фиксированный WiMAX) и 802.16e (мобильный WiMAX).

Для мобильного WiMAX требуется «сотовая» топология базовых станций.

Фиксированный WiMAX характеризуется следующими параметрами каналов:

- Частоты: 3,5 и 5 ГГц
- Дальность: от 25 до 80 км
- Скорость передачи: до 75 Мбит/с

Мобильный WiMAX характеризуется следующими параметрами каналов:

- Частоты: от 2,3 до 3,8 ГГц
- Дальность: от 1 до 5 км
- Скорость передачи: до 40 Мбит/с

## **Шифрование в беспроводных сетях**

Шифрование обеспечивает защиту информации от «прослушивания». В Wi-Fi используются более простые алгоритмы (WEP, DES, AES), в WiMAX – более сложный (AES с периодически изменяющимся ключом, AES-CCK).

## **Задания для самостоятельной работы**

Подготовить письменное сообщение (эссе) по указанному преподавателем варианту заданий из приведенного ниже списка. При подготовке сообщения выписать термины и сокращения, дать их объяснение и расшифровку.

1. Способы защиты каналов связи от «прослушивания». Шифрование: общие принципы и виды. Понятие криптостойкости.
2. Симметричное шифрование. Виды шифров. Алгоритмы. Достоинства и недостатки симметричного шифрования.
3. Асимметричное шифрование. Виды шифров. Алгоритмы. Достоинства и недостатки асимметричного шифрования.
4. Протоколы IPsec. Уровни модели OSI/RM, затрагиваемые IPsec. Используемые алгоритмы шифрования.
5. Протоколы SSL. Уровни модели OSI/RM, затрагиваемые SSL. Используемые алгоритмы шифрования.
6. Сети VPN. Варианты организации взаимодействия. Требуемые программные средства. Основные поставщики в России. Оценка стоимости организации VPN-канала.
7. Понятие «сертификат», «доверенный сертификат», «корневой сертификат». Удостоверяющий центр: назначение и использование.

## Пример оснащения таможни

В таблице ниже перечислены аппаратные средства серверов, используемых в одной из таможен Северо-Западного таможенного управления и роли этих серверов.

| Роль                               | Аппаратные средства                     |
|------------------------------------|-----------------------------------------|
| Сервер ТТП                         | Hewlett Packard (HP) ProLiant BL460c G7 |
| Контроллер домена                  | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL360 G5  |
| Сервер баз данных                  | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL380 G5  |
| Сервер сбора ТД                    | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL380 G5  |
| Сервер данных «Коносаменты»        | Hewlett Packard (HP) ProLiant BL460c G7 |
| Сервер АИСТ-М                      | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL380 G4  |
| Сервер Скат-ТК                     | IBM X3650 M3                            |
| Сервер СУР                         | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL380 G6  |
| Сервер СПС «Консультант+»          | Hewlett Packard (HP) ProLiant ML370 G4  |
| Почтовый сервер                    | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL380 G5  |
| Сервер резервного копирования      | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL380 G5  |
| Сервер Kaspersky Internet Security | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL160 G5  |
| Прокси сервер (Internet)           | Hewlett Packard (HP) ProLiant DL360 G6  |
| Дисковый массив СХД                | IBM DS3524                              |

| Роль                     | Аппаратные средства      |
|--------------------------|--------------------------|
| Ленточный накопитель СХД | Hewlett Packard MSL 6000 |

В качестве системного программного обеспечения используются операционные системы семейства Microsoft Windows Server Enterprise, в качестве сервера баз данных Microsoft SQL Server на уровне таможни (для программных средств и их компонентов, эксплуатируемых только на уровне таможни). На уровне региональных таможенных управлений и ГЦОД ЦИТТУ ФТС России используется серверы баз данных Oracle Database.

В качестве сетевого (коммуникационного) оборудования в ЕАИС ТО, как правило, используется оборудование компании Cisco различных классов.

Более подробно ЕАИС ТО и состав ее компонентов обсуждается в курсе «Информационные таможенные технологии».

## Литература

1. Бройдо В.Л., Ильина О.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В. Л. Бройдо, О. П. Ильина .— 4-е изд .— СПб.: Питер, 2011 .— 560 с.
2. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. 5-е изд. – Питер, 2012 – 848 с.
3. Таненбаум Э. Современные операционные системы. 3-е изд. – Питер, 2013 – 1120 с.
4. Точки Р.Дж., Уидмер Н.С. Цифровые системы. Теория и практика, 8-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1024 с.
5. Галатенко В.А. Основы информационной безопасности: учебное пособие / В. А. Галатенко; под ред. акад. РАН В. Б. Бетелина. — Изд. 4-е .— М.: Интернет-Университет информационных технологий (ИНТУИТ.РУ): БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 .— 205 с.
6. Догадин Н.Б. Архитектура компьютера : учебное пособие. - БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 271 с.
7. Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. — ДМК Пресс, 2012. – 850 с.
8. Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. — ДМК Пресс, 2012. — 592 с.

9. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2013 – 960 с.
10. Панасенко С. Алгоритмы шифрования. Специальный справочник. – БХВ-Петербург, 2009 – 576 с.
11. Парфенов П.С. История и методология информатики и вычислительной техники. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. – 141 с.
12. Ключев А.О., Ковязина Д.Р., Петров Е.В., Платунов А.Е. Интерфейсы периферийных устройств. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. – 294 с.
13. Кириллов В.В. Архитектура базовой ЭВМ. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2011. – 144 с.

**Миссия университета** – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

## **КАФЕДРА ТАМОЖЕННОГО ДЕЛА И ЛОГИСТИКИ**

Кафедра таможенного дела и логистики (ТДиЛ) Института международного бизнеса и права государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики» была образована в 2007 году. Кафедра ТДиЛ – единственная в России, которая готовит специалистов таможенного дела по стандартам Всемирной Таможенной Организации (ВТО) и имеет соответствующую аккредитацию ВТО. Среди членов кафедры есть как работники высшей школы, так и действующие сотрудники Федеральной таможенной службы. Кафедра осуществляет подготовку специалистов в области таможенного дела и логистики в соответствии с потребностями отрасли по специальности 38.05.02 (036401) «Таможенное дело» со специализацией «Таможенный менеджмент».

Хахаев Иван Анатольевич

**Вычислительные машины, сети и системы  
телекоммуникаций в таможенном деле**

**Учебное пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати 20.05.2015г.

Заказ № 3301

Тираж 50 экз.

Отпечатано на ризографе

О. М. Огородникова

**Вычислительные методы  
в компьютерном инжиниринге**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

О. М. Огородникова

**Вычислительные методы  
в компьютерном инжиниринге**

Учебное пособие

Екатеринбург  
УрФУ  
2013



УДК 004.4:621.01  
ББК 32.973.26-012.2+34.42  
О39

Рецензенты:

кафедра технологии машиностроения и методики профессионального обучения Машиностроительного института РГППУ;  
д-р техн. наук А. М. Потапов, главный научный сотрудник Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН;  
заместитель директора по научной работе Челябинского института путей сообщения В. Л. Федяев.

**Огородникова, О. М.**

О39 Вычислительные методы в компьютерном инжиниринге: учебное пособие / О. М. Огородникова – Екатеринбург : УрФУ, 2013. 130 с.

**ISBN 978-5-7996-0816-3**

В учебном пособии изложены необходимые сведения о терминологии и методах вычислительной математики, предваряющие углубленное изучение компьютерного инжиниринга в машиностроении. Рассмотрены уравнения и системы уравнений, задачи интерполяции и аппроксимации, численное решение дифференциальных уравнений в частных производных, метод конечных разностей и метод конечных элементов. Учебное пособие ориентировано на бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 221000 «Мехатроника и робототехника». Пособие будет полезно студентам и специалистам, интересующимся компьютерным инженерным анализом и такими популярными программами как ANSYS, NASTRAN, ABAQUS и др.

УДК 004.4:621.01  
ББК 32.973.26-012.2+34.42

**ISBN 978-5-7996-0816-3**

© Уральский федеральный университет, 2013

## Оглавление

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение .....</b>                                                                 | <b>7</b>  |
| <b>ТЕМА 1. Компьютерное и математическое моделирование в инженерных задачах .....</b> | <b>9</b>  |
| 1.1. Расчетные параметры в инженерных задачах .....                                   | 9         |
| 1.2. Концепция моделирования инженерных объектов.....                                 | 11        |
| 1.3. Моделирование нанообъектов .....                                                 | 14        |
| 1.4. Программное обеспечение для математических расчетов...                           | 17        |
| Вопросы для самоконтроля .....                                                        | 19        |
| <b>ТЕМА 2. Точность компьютерных вычислений.....</b>                                  | <b>19</b> |
| 2.1. Источники погрешности расчетных результатов.....                                 | 19        |
| 2.2. Представление чисел в компьютерных вычислениях.....                              | 22        |
| 2.3. Ограничения машинных чисел.....                                                  | 25        |
| Вопросы для самоконтроля .....                                                        | 29        |
| <b>ТЕМА 3. Численное интегрирование.....</b>                                          | <b>29</b> |
| 3.1. Концепция численного интегрирования .....                                        | 29        |
| 3.2. Метод прямоугольников .....                                                      | 31        |
| 3.3. Метод трапеций .....                                                             | 33        |
| 3.4. Метод Симпсона .....                                                             | 35        |
| 3.5. Метод Ньютона-Котеса.....                                                        | 37        |
| 3.6. Метод Чебышева.....                                                              | 38        |
| 3.7. Метод Гаусса.....                                                                | 39        |
| Вопросы для самоконтроля .....                                                        | 40        |
| <b>ТЕМА 4. Интерполяция.....</b>                                                      | <b>40</b> |
| 4.1. Концепция интерполяции .....                                                     | 40        |
| 4.2. Метод Лагранжа.....                                                              | 42        |
| 4.3. Метод Ньютона .....                                                              | 46        |
| 4.4. Интерполяция сплайнами .....                                                     | 51        |
| Вопросы для самоконтроля .....                                                        | 53        |
| <b>ТЕМА 5. Аппроксимация .....</b>                                                    | <b>53</b> |
| 5.1. Концепция аппроксимации.....                                                     | 53        |
| 5.2. Метод наименьших квадратов.....                                                  | 56        |
| 5.3. Аппроксимация элементарными функциями .....                                      | 61        |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| Вопросы для самоконтроля .....                                   | 64         |
| <b>ТЕМА 6. Нелинейные уравнения .....</b>                        | <b>65</b>  |
| 6.1. Концепция методов решения нелинейных уравнений .....        | 65         |
| 6.2. Метод сканирования.....                                     | 68         |
| 6.3. Метод деления отрезка пополам .....                         | 69         |
| 6.4. Метод хорд .....                                            | 70         |
| 6.5. Метод касательных.....                                      | 72         |
| 6.6. Метод параболической аппроксимации .....                    | 73         |
| 6.7. Метод простой итерации .....                                | 74         |
| Вопросы для самоконтроля .....                                   | 75         |
| <b>ТЕМА 7. Системы линейных уравнений .....</b>                  | <b>76</b>  |
| 7.1. Концепция методов решения систем линейных уравнений         | 76         |
| 7.2. Матрицы и матричные вычисления.....                         | 77         |
| 7.3. Матрицы, обрабатываемые САЕ-программами .....               | 80         |
| 7.4. Прямые методы.....                                          | 84         |
| 7.5. Итерационные методы .....                                   | 86         |
| Вопросы для самоконтроля .....                                   | 87         |
| <b>ТЕМА 8. Решение дифференциальных уравнений на сетке .....</b> | <b>88</b>  |
| 8.1. Концепция методов решения на расчетной сетке .....          | 88         |
| 8.2. Метод конечных разностей.....                               | 89         |
| 8.3. Метод конечных элементов.....                               | 93         |
| Задача 1. Однокоординатное растяжение упругой пружины .....      | 93         |
| Задача 2. Растяжение последовательно соединенных пружин .....    | 95         |
| Задача 3. Осевое растяжение стержня .....                        | 97         |
| Задача 4. Осевое растяжение ступенчатого стержня .....           | 99         |
| Вопросы для самоконтроля .....                                   | 102        |
| <b>ТЕМА 9. Оптимизация.....</b>                                  | <b>102</b> |
| 9.1. Концепция методов оптимизации.....                          | 102        |
| 9.2. Одномерная оптимизация .....                                | 104        |
| 9.3. Градиентная оптимизация .....                               | 105        |
| Вопросы для самоконтроля .....                                   | 108        |
| <b>ТЕМА 10. Собственные значения и векторы.....</b>              | <b>108</b> |
| 10.1. Понятие собственных значений .....                         | 108        |
| 10.2. Концепция поиска собственных значений.....                 | 110        |

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| Вопросы для самоконтроля .....                               | 110        |
| <b>ТЕМА 11. Параллельные вычислительные технологии .....</b> | <b>111</b> |
| 11.1. Параллельные вычислительные системы .....              | 111        |
| 11.2. Параллельные алгоритмы .....                           | 116        |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>                                      | <b>119</b> |
| Работа 1. Организация вычислений в среде MathCAD.....        | 119        |
| Работа 2. Аппроксимация .....                                | 126        |
| Работа 3. Нелинейные уравнения.....                          | 128        |
| <b>Заключение.....</b>                                       | <b>130</b> |

## Введение

*«Что для одного ошибка, для другого – исходные данные»*

*Из законов Мерфи*

Стремительное развитие вычислительной мощности компьютеров и прикладного программного обеспечения меняет привычное представление о характере инженерной работы. В связи с этим очевидной становится необходимость изменить содержание учебных курсов по проектированию технических объектов, добавив изложение компьютерных аспектов.

Расчётное обоснование технических проектов с использованием современных автоматизированных технологий базируется на ресурсоемких компьютерных системах и требует междисциплинарного программного обеспечения. Причем нарастающая популярность компьютерных программ инженерного анализа (Computer-Aided Engineering – CAE) у рядовых специалистов объясняется, в первую очередь, снижением стоимости высокопроизводительных компьютеров. Ведь для выполнения современных инженерных расчётов требуется большая вычислительная мощность. И если раньше для этого были необходимы громоздкие кластеры и дорогостоящие рабочие станции, то сейчас конструктору достаточно иметь персональный компьютер, снабженный 64-разрядным многоядерным процессором.

Немаловажную роль в развитии компьютерных вычислений играет и рост конкуренции в промышленности. Под давлением рынка предприятия стремятся к экономии средств и поэтому стараются перенести испытания образцов новой продукции из реального мира в виртуальный, получая при этом двойной выигрыш: разработка изделия ускоряется, а затраты на его производство снижаются. Конечно, инженерные расчёты с использованием компьютера не могут полностью заменить натурные испытания, но предварительная проверка изделия на компьютере позволяет сократить число явных ошибок и опытных образцов. Правда, для этого сами программы должны заслуживать полного доверия. И здесь важным фактором становится надёжность используемых компьютерных методов вычислений, знание которых является обязательным для пользователей программного обеспечения CAE.

Учебное пособие сочетает изложение теории численных методов и их практическую реализацию через интерфейсы специализированных пакетов. В пособии изложены необходимые начальные сведения о терминологии и

методах вычислительной математики; рассмотрены нелинейные уравнения и системы уравнений, задачи интерполяции и аппроксимации, численное решение дифференциальных уравнений в частных производных. Главной целью являются метод конечных разностей и метод конечных элементов. Для полного понимания этих методов студентам предлагается самостоятельно написать несколько программ на Фортране. Практическая часть содержит полезные примеры решения типовых задач из инженерной практики.

Вся информация разбита на 11 тем, которые можно изучать независимо и в любом порядке. Некоторые темы представляют интерес не только в компьютерном моделировании инженерных объектов, но и при обработке результатов измерений технических параметров в экспериментальных исследованиях.

# ТЕМА 1. Компьютерное и математическое моделирование в инженерных задачах

*«Компьютерная программа выполняет только то,  
что Вы ей приказали сделать,  
а не то, что Вам просто подумалось,  
чтобы она сделала»  
Из законов Мерфи*

## 1.1. Расчетные параметры в инженерных задачах

В инженерных задачах, как правило, ведется поиск параметров, распределенных по выделенной в пространстве области, а также изменение этих параметров во времени. Во многих случаях искомый параметр является функцией четырех переменных – трех пространственных координат и времени. Например, если требуется найти изменение температурного поля в конструкции с течением времени, то температура в такой постановке задачи является функцией времени и трех пространственных координат:

$$T = f(t, x, y, z) . \quad (1.1)$$

Анализируемые в инженерных задачах процессы содержат производные искомой функции четырех переменных и описываются дифференциальными уравнениями. Поскольку искомая функция зависит от нескольких переменных, в решаемых дифференциальных уравнениях присутствуют ее частные производные. В инженерных задачах очень часто интересующие нас параметры вычисляются решением дифференциальных уравнений второго порядка с частными производными.

Например, дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных, описывающее явление теплопроводности в технических системах, – уравнение теплопроводности Фурье (здесь приводится в усеченном виде для изотропных тел в одномерном случае), которое содержит частную производную первого порядка от температуры по времени и частную производную второго порядка от температуры по координате:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q , \quad (1.2)$$

где  $\rho$  – плотность,

$C$  – теплоемкость,

$K$  – коэффициент теплопроводности,

$Q$  – скорость генерации тепла в системе, обусловленная различными процессами (индукционный нагрев, выделение скрытой теплоты плавления, сгорание топлива и другие процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла).

Если в задаче анализируется несколько физических процессов, например теплопередача и деформация, тогда приходится решать систему дифференциальных уравнений, описывающих каждый из этих процессов.

Аналитическое решение дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений для большинства инженерных задач, сформулированных в полной постановке, невозможно. Решение в аналитическом виде находят для простых случаев.

*Пример дифференциального уравнения, решаемого аналитически.* Пусть дифференциальное уравнение механики содержит функцию координаты от времени  $x(t)$ , ее первую производную и имеет вид:

$$a_0 \frac{dx}{dt} + a_1 x = 0, \quad (a_0 \neq 0). \quad (1.3)$$

Это дифференциальное уравнение можно охарактеризовать как

- 1) *обыкновенное* уравнение (т.е. для функции одной переменной);
- 2) *однородное* уравнение (т.е. с нулевой правой частью);
- 3) *линейное* уравнение (т.е. с постоянными коэффициентами);
- 4) уравнение *первого порядка* (т.е. с производной первого порядка).

Уравнение (1.3) можно преобразовать к виду  $\frac{dx}{dt} = -\frac{a_1}{a_0} x$  ;

или разделить переменные  $\frac{dx}{x} = -\frac{a_1}{a_0} dt$  ;

и получить аналитическое решение

$$x = x_{t=0} \cdot e^{-\frac{a_1}{a_0} t}. \quad (1.4)$$

Традиционно при инженерном проектировании многие задачи, описываемые дифференциальными уравнениями, решаются приближенно. Для получения приближенных решений используются эмпирические данные, обработанные статистически. Измеренные свойства материалов и результа-



ты наблюдений за разрушением конструкций обеспечивают точность полуэмпирических методов проектирования. Для удобства проектировщиков они сгруппированы в тематические справочники с огромным количеством графиков, таблиц и номограмм, по которым можно оценить служебные параметры инженерных систем. Полуэмпирические методы предполагают, что справочные данные подставляются в простые по структуре алгебраические выражения. Затем производятся вычисления с использованием любого подручного калькулятора. Такой подход к расчету конструктивных и технологических параметров в инженерной практике оправдан, поскольку инженеру нужны конкретные численные значения с небольшим количеством значащих цифр – температура заливки расплава в литейную форму, толщина стенки сосуда, предельное допустимое давление и т.п.

С появлением мощных компьютеров и разнообразных компьютерных программ для выполнения инженерных расчетов у специалистов появилась возможность решать дифференциальные уравнения дискретно. Вместе с тем актуальной становится необходимость развивать и осваивать компьютерные методы вычислений, оценивать точность полученных компьютером расчетных результатов.

## **1.2. Концепция моделирования инженерных объектов**

Расчетное обоснование технического проекта базируется на моделировании объектов, составляющих этот проект. Обсуждая последовательность моделирования инженерных объектов и систем, следует выделить три связанных между собой модели: 1) физическую; 2) математическую; 3) расчётную. В основе компьютерного анализа инженерных систем лежат математические модели физических явлений.

*Физическая модель* содержит перечень основных процессов и явлений, определяющих поведение системы. Всякое явление природы бесконечно в своей сложности. Чтобы описать некоторое явление, необходимо выявить самые существенные свойства, закономерности, внутренние связи, роль отдельных характеристик этого явления. Выделив наиболее важные факторы, влияющие на происходящие процессы, можно пренебречь менее существенными свойствами анализируемой системы.

*Математическая модель* представляет собой систему уравнений, описывающих выделенные физической моделью существенные процессы, а также начальные и граничные условия. В общем случае математическая

модель с помощью уравнений и дополнительных условий описывает поведение технической системы на трех уровнях: 1) взаимодействие системы с внешней средой (по границе – граничные и контактные условия, в начальный момент времени – начальные условия); 2) взаимодействие между элементарными объемами внутри системы; 3) свойства отдельно взятого элементарного объема (уравнения состояния среды).

Математические модели обладают свойством общности, поскольку одни и те же математические уравнения описывают физические явления различной природы. С помощью математического моделирования решение научной или инженерной задачи сводится к решению математической задачи.

Для решения математических задач используются две основные группы методов: аналитические и численные. Аналитические методы позволяют получить решение задачи в виде формул. К сожалению, в инженерной практике это редко достижимо. Например, подавляющая часть нелинейных дифференциальных уравнений аналитическими способами не решается. Для решения таких задач разрабатываются и применяются методы приближенных вычислений или *численные методы*, позволяющие свести решение математической задачи к выполнению конечного числа арифметических действий над числами.

*Расчетная модель* адаптирует математическую модель непосредственно к проведению вычислений. С этой целью математическая модель представляется в форме, удобной для применения численных методов: задается последовательность вычислительных и логических операций, которые нужно произвести, чтобы найти решение в виде чисел с заданной точностью.

Если расчетную модель многократно реализовали на компьютере, изменяя параметры анализируемого объекта, то говорят о проведении вычислительного эксперимента. Вычислительный эксперимент, использующий в качестве исследовательского инструмента высокопроизводительные компьютеры, становится в настоящее время важным направлением научно-исследовательской деятельности.

Методы, с помощью которых задача преобразуется к виду, удобному для реализации на компьютере (вычислительные методы), можно разбить на несколько классов: 1) методы эквивалентных преобразований; 2) методы

аппроксимации; 3) прямые методы; 4) итерационные методы; 5) статистические методы.

Методы эквивалентных преобразований позволяют заменить исходную задачу более простой задачей, имеющей то же решение. Методы аппроксимации заменяют исходную задачу приближенной задачей с более простым математическим уравнением, например, линейной или квадратичной функцией. Прямые методы позволяют получить решение после выполнения конечного числа элементарных операций. Итерационные методы предполагают многократное выполнение однотипного набора действий. Статистические методы основаны на моделировании случайных величин и построении статистических оценок решений.

Обсудим компьютерное моделирование технической системы. Под компьютерным моделированием технических систем и устройств понимают адекватную замену исследуемого технического объекта расчетной моделью и ее последующее изучение методами вычислительной математики с привлечением современных вычислительных средств и компьютерных программ.

Компьютерное моделирование как универсальный инструмент исследования завоевывает прочные позиции в различных областях инженерной деятельности и становится важнейшим направлением в проектировании новых технических систем, в анализе свойств различных объектов, в выборе и обосновании оптимальных условий их функционирования.

Процесс компьютерного моделирования включает три этапа: 1) построение модели; 2) верификация и 3) виртуальное исследование.

Первый этап компьютерного моделирования – построение модели. Под компьютерной моделью понимают некоторый виртуальный объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал таким образом, что его непосредственное изучение дает новые знания об объекте-оригинале. Любая модель содержит ограничения и акцентирует внимание на некоторых выделенных свойствах объекта, важных с точки зрения исследуемых процессов. Но если компьютерная модель не учитывает принципиально важные качества объекта, то какие бы сложные и точные методы не применялись в дальнейшем для решения задачи, полученные результаты окажутся ненадежными, а в некоторых случаях – совершенно неверными. Познавательные возможности модели обуславливаются тем, что модель отражает некоторые существенные черты объекта-оригинала.

Второй этап компьютерного моделирования – верификация модели, ее проверка. Верификация заключается в сопоставлении расчётных результатов, полученных в рамках данной модели, с аналогичными экспериментальными данными. Для проверки модели составляется тестовая задача. Верифицированные модели можно распространить на другие процессы и системы подобного типа.

Третий этап компьютерного моделирования – виртуальное исследование модели. В процессе изучения свойств объекта модель выступает как самостоятельный объект исследования. Одной из форм такого исследования является проведение вычислительных экспериментов, когда согласно некоторому плану изменяются условия функционирования модели и систематизируются данные об откликах системы на вариации условий.

В зависимости от сложности модели применяются различные математические подходы. Для значительно формализованных и несложных моделей зачастую удается получить аналитическое решение, но физическая информативность исследования упрощенных моделей аналитическими методами невелика, поскольку позволяет оценить только порядок расчётных параметров и не транслируется однозначно на сложные объекты. Для комплексных и сложных моделей (например, при исследовании транспортных аварий или режимов резания в механообработке) аналитическое решение получить не удастся. В этих случаях основными являются численные методы решения, требующие проведения расчётов на компьютерах.

Необходимость компьютерного моделирования определяется тем, что многие объекты непосредственно исследовать невозможно либо их исследование требует больших затрат времени и средств. Подходящими объектами для сугубо компьютерного моделирования являются, например, имплантанты и их поведение внутри человеческих органов или ресурс конструкций, функционирующих в космическом пространстве.

### **1.3. Моделирование нанообъектов**

Компьютерные расчеты на базе математической модели эффективно применяются при исследовании нанообъектов и в разработке нанотехнологий. Одним из наиболее ярких примеров моделирования в области современных полупроводниковых нанотехнологий является работа, выполненная сотрудниками Национальной лаборатории имени Лоуренса в Беркли. Благодаря прямому численному моделированию квантового поведения ты-

сяч атомов на суперкомпьютере Seaborg были решены некоторые проблемы так называемых квантовых точек.

Поведение квантовых точек и их электронную структуру можно описать по аналогии с премьерой оперы на итальянском языке в театре, когда на сцене певцы стараются изо всех сил, а зрительские ряды наполнены публикой. Поведение актеров и зрителей в театре во многом похоже на поведение электронов квантовой точки. Во время представления актеры перемещаются по сцене, не выходя в зрительский зал, с другой стороны, зрители следят за действием со своих мест и не выходят на сцену. Сцена в этом примере моделирует нижние заполненные уровни квантовой точки, а зрительские ряды в партере и на галерке – возбужденные электронные уровни, обладающие более высокой энергией. При этом как зритель может находиться в любом ряду зала, так и электрон способен занять любой энергетический уровень квантовой точки, но не может располагаться между ними.

Традиционными и широко известными квантовыми точками являются выращенные на подложках полупроводниковые частицы GaN и коллоидные растворы нанокристаллов CdSe. В настоящий момент известно множество способов получения квантовых точек, например, их можно вырезать из тонких слоев полупроводниковых гетероструктур с помощью нанолитографии, а можно спонтанно сформировать в виде наноразмерных включений структур полупроводникового материала одного типа в матрице другого. Методом молекулярно-пучковой эпитаксии при существенном отличии параметров элементарной ячейки подложки и напыляемого слоя можно добиться роста на подложке пирамидальных квантовых точек, за исследование свойств которых академику Ж.И. Алферову была присуждена Нобелевская премия. Контролируя условия процессов синтеза, теоретически можно получать квантовые точки определенных размеров с заданными свойствами.

Использование квантовых точек – включений из сотен или тысяч атомов одного полупроводника в другом – позволяет изготавливать разнообразные полупроводниковые устройства – от небывало эффективных свето- и фотодиодов до кубитов для квантовых компьютеров и систем квантовой криптографии. Однако прогресс в их применении идет медленно. Дело в том, что многие из свойств квантовых точек до сих пор не очень понятны, поэтому технологам при их создании приходится действовать методом

проб и ошибок. А теоретики часто бывают бессильны, поскольку известные квантовые методы, хорошо работающие для отдельного атома или для кристаллической решетки, оказываются малоприспособлены, когда структура включает несколько сотен атомов.

Некоторые задачи о поведении квантовых точек в итоге были решены методом математического моделирования. Проведенные на суперкомпьютере расчеты прекрасно описали хорошо известные эффекты, а также помогли получить новую информацию об объекте. В частности, построенная модель предполагает, что локальные диэлектрические свойства внутри квантовой точки точно такие же, как и в сплошном материале. А все изменения свойств полупроводников тесно связаны с квантовыми эффектами на поверхности квантовой точки. Построенная модель после математического исследования и верификации стала мощным инструментом для развития новых технологий в изготовлении полупроводниковых устройств и осознанного научно-технического поиска.

Квантовые точки являются основой для формирования кубитов. Кубит (*q-bit*, кьюбит; от *quantum bit*) – квантовый разряд или наименьший элемент для хранения информации в квантовом компьютере. Как и бит, кубит допускает два собственных состояния, обозначаемых 0 и 1, но при этом может находиться и в их суперпозиции.

Упрощенная схема вычисления на квантовом компьютере выглядит так: берётся система кубитов, на которой записывается начальное состояние. Затем состояние системы или её подсистем изменяется посредством базовых квантовых операций. Для построения любого вычисления достаточно двух базовых операций. В конце измеряется значение, которое является результатом работы компьютера. Квантовая система даёт результат, являющийся правильным только с некоторой вероятностью. Но за счёт небольшого увеличения операций в алгоритме можно сколь угодно приблизить вероятность получения правильного результата к единице.

Теоретически квантовая схема вычислений может работать намного (в экспоненциальное число раз) быстрее классической. Большая часть современных компьютеров работает по такой схеме:  $n$  бит памяти хранят состояние, которое каждый такт времени изменяется процессором. В квантовом случае система из  $n$  кубитов находится в состоянии, являющемся суперпозицией всех базовых состояний, поэтому изменение системы касается всех  $2n$  базовых состояний одновременно.

Благодаря огромной скорости разложения на простые множители, квантовый компьютер позволит расшифровывать сообщения, закодированные при помощи многих популярных криптографических алгоритмов. Так, сравнительно надёжным считается алгоритм разложения чисел на простые множители, так как эффективный способ такого разложения для классического компьютера в настоящее время неизвестен. Например, чтобы получить доступ к кредитной карте, нужно разложить на два простых множителя число длиной в сотни цифр. Даже для самых быстрых современных компьютеров выполнение этой задачи заняло бы больше времени, чем возраст Вселенной в сотни раз (более триллиарда лет). Эту задачу можно решить с использованием квантового компьютера. Методы квантовой криптографии открывают также новые возможности в области передачи секретных сообщений, которые даже теоретически нельзя расшифровать.

Квантовые точки, квантовые компьютеры и методы квантовой криптографии являются важными объектами для компьютерного моделирования и вычислительных экспериментов.

#### ***1.4. Программное обеспечение для математических расчетов***

Существует несколько общеизвестных математических пакетов, реализующих различные численные методы, а также способных производить аналитические математические преобразования.

**Mathcad** (сайт разработчика – РТС – Parametric Technology Corporation, США, [www.ptc.com/products/mathcad](http://www.ptc.com/products/mathcad)) является удобным инструментом работы для расчетчиков-инженеров, адаптирован к инженерным расчетам и имеет интуитивно понятный интерфейс. Пакет не предназначен для профессиональных математиков, которые используют системы, действующие в области символьной математики или математической статистики. В нем нет смысла программировать сложные задачи, для этого следует использовать систему Matlab или языки программирования Fortran или C++.

Владельцем программы MathCAD в настоящее время является известный разработчик сквозных технологий проектирования CAD/CAE/CAM/PLM Pro/ENGINEER в машиностроении – компания РТС. В основе интеграции Mathcad и Pro/ENGINEER лежит двухсторонняя связь между этими приложениями. Их пользователи могут легко связать любой файл Mathcad с де-

талью и сборкой Pro/ENGINEER. В свою очередь, базовые величины, рассчитанные в системе Mathcad, могут быть переведены в параметры и размеры CAD-модели для управления геометрическим объектом. Параметры из модели Pro/ENGINEER также можно ввести в Mathcad для последующих инженерно-конструкторских расчётов. При изменении параметров взаимная интеграция двух систем позволяет динамически обновлять вычисления и конструкторскую документацию.

Отличительной особенностью программы MathCad является отсутствие специального языка программирования и связанная с этим легкость и наглядность решения задачи, возможность отображать математические формулы в том виде, в котором они обычно записываются на листе бумаги. Наличие развитых средств представления расчетных результатов упрощает анализ проекта и создание технических отчетов.

К недостаткам пакета следует отнести отсутствие встроенных средств отладки программ и невысокую скорость расчетов.

**MATLAB** (сокращённо от **Matrix Laboratory** – дословно в переводе «матричная лаборатория», сайт разработчика MathWorks, США, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)) ориентирован на решение научных и инженерных задач, построен по принципу языка программирования высокого уровня, позволяет сохранять документы в формате языка программирования С. MATLAB как высокоуровневая система программирования позволяет резко сократить затраты труда при проверке алгоритмов и проведении прикидочных расчётов. MATLAB работает как интерпретатор и включает большой набор инструкций (команд) для выполнения самых разнообразных вычислений, для задания структур данных и графического представления информации. Команды написаны на С, но много и таких команд, которые представлены в терминах встроенных С-программ. Пользователь может без особых затруднений добавлять свои команды и писать программы в терминах уже существующих команд; несколько сложнее делать это на Фортране и С. Можно обмениваться данными с программами на этих языках, а из них обращаться к системе. Имеются удобные способы управления счетом.

Главным недостатком программы является ее высокая стоимость для промышленного применения. Но доступны бесплатные студенческие лицензии. Разработчики программы расположены в Массачусетсе. Многие открытые курсы Массачусетского университета сопровождаются техниче-



скими расчетами в среде MATLAB и открывают свободный доступ к соответствующим файлам.

**Mathematica** (сайт разработчика Wolfram Research, США, [www.wolfram.com](http://www.wolfram.com)) популярен среди теоретиков, предоставляет широкие возможности в проведении аналитических преобразований. Решение задачи осуществляется с помощью набора команд и по содержанию работы аналогично программированию. Существуют также приложения к программе во всех значимых инженерных направлениях.

**Maple** (сайт разработчика Maplesoft, Канада, [www.maplesoft.com](http://www.maplesoft.com)) решает задачи аналитически или численно. Программа способна обмениваться информацией с текстовыми редакторами для подготовки научных публикаций, активно позиционирует себя в мехатронике и конструировании машин.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Напишите второй закон Ньютона в виде дифференциального уравнения. Какой физический смысл имеет коэффициент перед производной в этом уравнении?
2. Напишите все производные первого и второго порядка функции четырех переменных  $f(t, x, y, z)$ .
3. Составьте математическую модель для задачи о конструкционной прочности того кресла, на котором сидите. Включите в математическую модель дифференциальное уравнение, описывающее основное физическое явление, и граничные условия.

## **ТЕМА 2. Точность компьютерных вычислений**

*«Человеку свойственно делать ошибки,  
но окончательно все запутать может только компьютер»  
Правило точности Рэя (из законов Мерфи)*

### **2.1. Источники погрешности расчетных результатов**

Погрешность является мерой точности результата. Для количественной характеристики этой меры используют понятия абсолютной и относительной погрешностей. При работе с приближенными числами используют понятия значащих и верных значащих цифр. Значащая цифра приближенного числа называется верной, если абсолютная погрешность числа не пре-

восходит единицы разряда, соответствующего этой цифре. Абсолютную и относительную погрешности обычно записывают в виде числа, содержащего одну или две значащие цифры. При указании погрешностей округление всегда производится в большую сторону.

Существует четыре источника погрешности расчетных результатов: 1) ограничения физической и математической моделей процессов; 2) ошибочные или неполные исходные данные; 3) недостаточная точность используемых численных методов и 4) неточное округление промежуточных результатов при вычислениях.

1. *Погрешность модели* процессов связана с физическими допущениями и ограничениями, на базе которых формулируется математическая модель анализируемого инженерного объекта. Любая модель является лишь приближенным описанием реального процесса или явления. Погрешность, обусловленная неточностью модели, в ходе последующих вычислений не устраняется.

2. *Погрешность исходных данных* обусловлена погрешностью измерения технических параметров с помощью приборов. Приборная погрешность может достигать 10%. Такая погрешность является неустранимой и не может быть снижена математическими методами. Исходные данные для решения задачи, полученные экспериментально или в ходе предыдущих расчетов, часто являются основным источником погрешностей.

При вычислениях с приближенными числами важной задачей является оценка степени влияния погрешностей исходных данных на точность окончательного результата. Это необходимо не только для правильного учета вычислительных погрешностей, но также для определения возможных путей их уменьшения. Задачу вычисления величины  $y$  по известной величине  $x$  можно записать в виде

$$y = A(x) , \quad (2.1)$$

где  $A$  – оператор, т.е. правило, согласно которому производится вычисление.

Ограничимся рассмотрением корректно поставленных задач вычисления. Задача вычисления  $y = A(x)$  называется корректно поставленной, если решение задачи существует, является единственным и устойчивым по входным данным.

Остановимся на понятии устойчивости решения. Если при решении задачи возникает возмущение входных данных и вместо входной величины  $x$  оператор обрабатывает возмущенные входные данные с погрешностью  $x + \delta x$ , то мы получим в итоге возмущенное решение:

$$y + \delta y = A(x + \delta x) . \quad (2.2)$$

Следовательно, погрешность входных данных порождает неустранимую погрешность решения:

$$\delta y = A(x + \delta x) - A(x) . \quad (2.3)$$

Если решение непрерывно зависит от входных данных, то  $|\delta y| \rightarrow 0$  всегда при выполнении условия  $|\delta x| \rightarrow 0$ , и тогда задача (2.1) устойчива по входным данным. Отсутствие устойчивости означает, что даже малым погрешностям  $\delta x$  могут соответствовать большие погрешности  $\delta y$ , а значит, результат вычислений может значительно отличаться от истинной величины. Применять непосредственно к такой неустойчивой задаче численные методы бессмысленно.

Не всякую формально устойчивую задачу следует безоговорочно подвергать численному решению. Пусть, например, выполняется условие  $|\delta y| \leq C|\delta x|$ , где число  $C$  велико. Задача формально устойчива, но неустранимая ошибка решения может оказаться большой. Это случай плохой обусловленности задачи.

3. *Погрешность численных методов* появляется при переходе от аналитических зависимостей математической модели к дискретным функциям расчетной модели. Такая погрешность связана, например, с заменой интеграла суммой, производной – отношением разностей, функции – многочленом. Погрешность вычислительных методов является устранимой и должна быть в несколько раз меньше погрешности математического моделирования. На практике ограничиваются тем, чтобы довести погрешность используемых методов до величины, в несколько раз меньшей неустранимой погрешности. Дальнейшее повышение точности метода не приведет к повышению точности окончательного результата, а лишь увеличит трудоемкость расчетов из-за увеличения объема вычислений.

4. *Погрешность округления* возникает из-за ограниченной разрядности компьютеров. При решении с помощью компьютера сложных задач, в

которых вычисляется большое количество параметров для миллионов расчетных узлов, погрешность округления становится важным фактором. Такая погрешность накапливается в ходе вычислений и может достигать больших значений, когда выполняются миллиарды арифметических действий, и при этом алгоритм предполагает, например, вычитание близких по величине чисел. Погрешности округлений в сочетании с плохо организованным алгоритмом могут значительно исказить расчетные результаты.

## **2.2. Представление чисел в компьютерных вычислениях**

Причиной появления вычислительных погрешностей является способ представления чисел в компьютере. Компьютерная арифметика отличается от традиционной математики дискретным представлением чисел. В традиционной математике числа могут иметь бесконечное количество цифр, например, в периодических числах. В компьютерной системе числа хранятся в регистрах и ячейках памяти с ограниченным количеством разрядов. Вследствие этого система вещественных чисел, участвующих в компьютерных расчетах, является дискретной и конечной. В компьютерной арифметике число представляется ограниченным количеством цифр.

Современные компьютеры позволяют обрабатывать целые и вещественные числа. По форме представления, способу хранения и реализации вычислительных операций в процессоре целые и вещественные числа существенно различаются.

При решении научных и инженерных задач в основном используются вещественные числа. Для отображения вещественных чисел, которые могут быть как очень маленькими, так и очень большими, используется форма записи чисел с порядком основания системы счисления. Любое вещественное число может быть представлено в степенном виде, который называется «стандартной формой с плавающей запятой»:

$$x = \pm b^c m, \quad (2.4)$$

где  $x$  – положительное или отрицательное вещественное число,  
 $b$  – основание системы счисления (обычно используются основания 2, 8 или 16; основание всегда является положительной величиной:  $b > 0$ ),  
 $c$  – показатель степени, называется характеристикой или порядком,  
 $m$  – мантисса.

Например, число с основанием 10 представляется в виде  $x = \pm 10^c m$ , с основанием 2 – в виде  $x = \pm 2^c m$ .

Для указания размерности двоичных данных используют общепринятые термины: бит – один разряд двоичного числа, который может принимать значение 0 или 1, байт – 8 битов.

Представление однобайтных двоичных целых чисел без знака (положительных) в прямом двоичном коде от 0 до 255 имеет вид:

$$x = \sum_{k=0}^7 a_k 2^k, \quad (2.5)$$

где  $a_i$  может принимать значение 0 или 1.

Распределение по разрядам коэффициентов суммы можно оформить в следующем виде:

|       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a_0$ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ | $a_7$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Представление однобайтных двоичных целых чисел со знаком в прямом двоичном коде от  $-127 \dots 0 \dots$  до  $+127$  требует выделения одного бита для отражения знака числа:

$$x = (-1)^S \sum_{k=0}^6 a_k 2^k. \quad (2.6)$$

|     |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $S$ | $a_0$ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Один бит ( $S$ ) в представлении (2.6) содержит информацию о знаке числа: 0 – положительное, 1 – отрицательное; остальные биты служат для размещения модуля числа в прямом двоичном коде.

Приведенные примеры являются частными случаями представления чисел – только целых чисел – в двоичной системе счисления. В общем случае для вещественных чисел задают мантиссу и порядок числа.

Мантисса удовлетворяет условию нормировки:

$$b^{-1} \leq m < b^0 \quad \text{или} \quad \frac{1}{b} \leq m < 1, \quad \left[ b = 2 \Rightarrow \frac{1}{2} \leq m < 1 \right], \quad (2.7)$$

что обеспечивает единственность представления.

Мантисса определяет дробную часть числа и имеет вид конечной дроби по основанию  $b$ :

$$m = \frac{a_1}{b} + \frac{a_2}{b^2} + \dots + \frac{a_k}{b^k}, \quad \left[ b = 2 \Rightarrow m = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{4} + \dots + \frac{a_k}{2^k} \right], \quad (2.8)$$

где  $k$  – точность представления мантиссы, задающая число отведенных в структуре разрядов; коэффициенты разложения мантиссы являются положительными числами:  $0 \leq a_i \leq b - 1, i = 1, \dots, k$ .

Порядок задают в виде двоичного целого со знаком в прямом коде; мантиссу – в виде модуля нормализованного дробного числа в прямом коде с фиксированной точкой. Однобитовый знак мантиссы кодируют обычным образом – так же, как знак числа: 0 – положительное число, 1 – отрицательное.

Существует несколько международных стандартных форматов представления вещественных чисел, различающихся по точности, но имеющих одинаковую структуру, которая включает порядок ( $c_0, c_1$ ) и знак порядка ( $P$ ), знак мантиссы ( $S$ ) и абсолютную величину мантиссы ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ), например:

| порядок |       |       | мантисса |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| + или - | $2^0$ | $2^1$ | + или -  | 1/2   | 1/4   | 1/8   | 1/16  |
| $P$     | $c_0$ | $c_1$ | $S$      | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ |

Коэффициенты  $c_0, c_1, a_1, a_2, a_3, a_4$  принимают значение 0 или 1.

Чем больше разрядов отводится под запись мантиссы, тем выше точность представления числа. Чем больше разрядов занимает порядок, тем шире диапазон от наименьшего отличного от нуля числа до наибольшего числа, представимого в машине при заданном формате.

Возможны различные варианты структуры двоичных чисел, участвующих в компьютерных вычислениях. Так, в многобайтных числах последовательность байтов может выстраиваться слева направо (стандарт Motorola) или справа налево (стандарт Intel).

*Пример 2.1.* Представить вещественное число 8.75 в двоичной форме, т.е. с основанием  $b = 2$ . Описать порядок и мантиссу числа, используя 12 разрядов. Выделить под описание мантиссы 6 разрядов.

*Решение.* Чтобы определить порядок и мантиссу в двоичной системе счисления, делим число на 2 до получения остатка меньше 1. Таким образом, число можно представить в виде  $8.75 = 0.546875 \cdot 2^4$ , и его порядок равен 4, мантисса равна 0.546875. Дробная часть числа представляется в виде суммы  $0.546875 = \frac{1}{2} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64}$ . Полученную информацию о 12-разрядном представлении числа 8.75 в двоичной системе счисления, можно свести в таблицу:

| порядок  |       |       |       |       |       | мантисса |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| + или -  | $2^0$ | $2^1$ | $2^2$ | $2^3$ | $2^4$ | + или -  | 1/2   | 1/4   | 1/8   | 1/16  | 1/32  |
| $P$      | $c_0$ | $c_1$ | $c_2$ | $c_3$ | $c_4$ | $S$      | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ |
| <b>0</b> | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | <b>0</b> | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     |

По условиям данного примера слагаемое  $\frac{1}{64}$  в представлении ман-

тиссы не может быть учтено в 12-разрядном представлении числа и образует ошибку – погрешность округления.

□

### 2.3. Ограничения машинных чисел

Входные данные помещаются в оперативную память компьютера в разрядном представлении. Некоторые вещественные числа, например иррациональные, невозможно записать в оперативную память точно, поскольку они имеют бесконечное количество цифр. Арифметические действия с участием таких чисел всегда производят ошибку вычисления. Те числа, которые могут быть помещены в оперативную память, называют машинными числами, их количество ограничено и зависит от количества разрядов, выделенных для записи числа.

Для описания машинных чисел и ограничений вводится 3 параметра, отвечающих за ошибку компьютерных вычислений и зависящих от разрядности:

- 1) минимальное машинное число  $\varepsilon_0$ ,
- 2) относительная ошибка представления единицы  $\varepsilon_1$ ,
- 3) максимальное машинное число  $\varepsilon_\infty$ .

Минимальное машинное число (машинный нуль) выражается через основание и характеристику:

$$\varepsilon_0 = b^{c_{\min} - 1}, \quad (2.9)$$

где  $c_{\min}$  – минимальное возможное значение характеристики (отрицательное число).

Относительная ошибка представления единицы  $\varepsilon_1$  выражается через основание и точность представления мантииссы:

$$\varepsilon_1 = b^{1-k}. \quad (2.10)$$

Данный параметр отражает минимальное расстояние между двумя машинными числами на интервале от 1 до  $b$ ; при вычислениях все числа вида  $1+x$  из интервала  $[1, 1+\varepsilon_1]$  заменяются машинным числом 1 с ошибкой, не превосходящей  $\varepsilon_1$ .

Максимальное машинное число (машинная бесконечность) равно

$$\varepsilon_{\infty} = b^{c_{\max}} (1 - b^{-k}), \quad (2.11)$$

где  $c_{\max}$  – максимальная возможная характеристика.

Из определения машинного числа можно сделать два вывода:

1) интервалы  $(-\infty, -\varepsilon_{\infty})$ ,  $(-\varepsilon_0, 0)$ ,  $(0, \varepsilon_0)$ ,  $(1 - \varepsilon_1/b, 1)$ ,  $(1, 1 + \varepsilon_1)$  и  $(\varepsilon_{\infty}, \infty)$  не содержат машинных чисел;

2) точность представления машинных чисел можно повысить, увеличив количество цифр в мантииссе и расширив область допустимых значений характеристик.

В таблице приведены определяющие параметры для компьютеров с одинарной и двойной точностью представления машинных чисел для процессоров стандарта IEEE 754. Данный стандарт разработан ассоциацией IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) и используется для представления действительных чисел (чисел с плавающей точкой) в двоичном коде. Это наиболее используемый стандарт для вычислений с плавающей точкой, он используется многими микропроцессорами и логическими устройствами, а также программными средствами. Основное применение в технике и программировании получили форматы длиной 32 и 64 бита.



| <i>Параметр</i>                                               | <i>Одинарная<br/>точность</i> | <i>Двойная<br/>точность</i> |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Основание системы счисления $b$                               | 2                             | 2                           |
| Минимальное значение характеристики $c_{\min}$                | -125                          | -1021                       |
| Максимальное значение характеристики $c_{\max}$               | 128                           | 1024                        |
| Точность представления мантииссы $k$                          | 24                            | 53                          |
| Минимальное машинное число $\varepsilon_0$                    | $2^{-126}$                    | $2^{-1022}$                 |
| Относительная ошибка представления<br>единицы $\varepsilon_1$ | $2^{-23}$                     | $2^{-52}$                   |
| Максимальное машинное число $\varepsilon_\infty$              | $2^{128}(1-2^{-24})$          | $2^{1024}(1-2^{-53})$       |

Любое вещественное число  $x \in (-\varepsilon_\infty, \varepsilon_\infty)$  в компьютере заменяется машинным числом  $x_m$ , для этого используется какой-нибудь способ приближения (усечение или округление). В результате такой замены возникает ошибка  $x - x_m$ , которая оценивается величиной  $\varepsilon_1|x|$  для вещественных чисел, модуль которых находится в интервале от наименьшего значения машинного числа до наибольшего  $\varepsilon_0 \leq |x| \leq \varepsilon_\infty$ . Ошибка зависит от минимального расстояния между числами:  $|x - x_m| \leq \varepsilon_1|x|$ . Числа меньше по модулю наименьшего машинного числа  $|x| \in (0, \varepsilon_0)$  при замене машинным числом могут принимать одно из двух значений: 0 или  $\varepsilon_0$ . Тогда ошибка зависит от минимального машинного числа:  $|x - x_m| \leq \varepsilon_0|x|$ , которое называют также абсолютной ошибкой определения нуля. Эти две оценки можно объединить в выражение, которое справедливо для всех  $x \in (-\varepsilon_\infty, \varepsilon_\infty)$ :

$$x_m = x(1 + \alpha) + \beta, \quad |\alpha| \leq \varepsilon_1, \quad |\beta| \leq \varepsilon_0. \quad (2.12)$$

Компьютер превращает исходные данные в машинные числа и затем выполняет арифметические действия над машинными числами. При вычислениях с плавающей точкой операция округления может потребоваться после выполнения любой из арифметических операций. Например, умножение или деление двух чисел сводится к умножению или делению мантиисс. Так как в общем случае количество разрядов мантиисс произведений и частных больше допустимой разрядности мантииссы, то требуется округление мантииссы результатов. При сложении или вычитании чисел с плавающей точкой эти числа должны быть предварительно приведены к одному

порядку, что осуществляется сдвигом вправо мантиисы числа, имеющего меньший порядок, и увеличением в соответствующее число раз порядка этого числа. Сдвиг мантиисы вправо может привести к потере младших разрядов мантиисы, таким образом, неизбежно появляется погрешность округления.

При вычислениях с помощью компьютера неизбежны погрешности округлений, связанные с ограниченностью разрядной сетки вычислительной машины. В некоторых случаях погрешности округлений в сочетании с плохо организованным алгоритмом могут сильно исказить результаты или даже привести к абсурдным результатам. В качестве примера рассмотрим решение простой системы двух уравнений с сохранением 6 цифр в расчетных результатах.

$$\begin{cases} -10^{-7}x + y = 1 \\ x + 5y = 6 \end{cases}$$

Решение можно начать с исключения переменной  $x$  из первого или из второго уравнения, в зависимости от этого решение окажется верным или неверным:

$$1) \begin{cases} x = 10^7 y - 10^7 \\ 10^7 y - 10^7 + 5y = 6 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = \frac{10^7 + 6}{10^7 + 5} \approx 1 \\ x \approx 0 \end{cases} ; \text{ решение неверное;}$$

$$2) \begin{cases} x = 6 - 5y \\ -10^{-7}(6 - 5y) + y = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = \frac{1 + 6 \cdot 10^{-7}}{1 + 5 \cdot 10^{-7}} \approx 1 \\ x \approx 1 \end{cases} ; \text{ решение верное.}$$

Для компьютерных вычислений система уравнений представляется в матричном виде. В данном примере матричный вид уравнения включает квадратную матрицу коэффициентов и два вектора, в том числе вектор неизвестных параметров:

$$\begin{bmatrix} -10^{-7} & 1 \\ 1 & 5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 6 \end{Bmatrix} .$$

*В качестве резюме по теме.* В настоящее время уже почти невозможно уследить за распространением компьютерных вычислений по прикладным областям. Такие вычисления проводятся в машиноведении и метрологии, химии и биологии, радиоэлектронике и электротехнике, геодезии

и геофизике, экономическом планировании и прогнозировании, теории автоматического управления и космических исследованиях, автоматизированном проектировании и машинной графике, разработке программного обеспечения общего назначения и даже в организации пожаротушения и огранке драгоценных камней.

Стремление к надежности численных расчетов привело не только к разработке нового математического аппарата и появлению многочисленных приложений, но и к развитию соответствующих компьютерных средств.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы основные источники погрешностей?
2. Что такое абсолютная и относительная погрешности?
3. Приведите к матричному виду систему уравнений:

$$\begin{cases} x + 2y + 3z = 4 \\ 5x + 6y + 7z = 8 \\ 9x + 10y + 11z = 12 \end{cases} .$$

## **ТЕМА 3. Численное интегрирование**

*«Человек, имеющий одни часы, твердо знает который час.*

*Человек, имеющий несколько часов, сомневается»*

*Из законов Мерфи*

### **3.1. Концепция численного интегрирования**

В случае аналитического решения многих задач, например, при вычислении момента инерции, вычисляют определенный интеграл. На выделенном интервале  $[a, b]$  определенный интеграл  $I$  считается аналитически по формуле

$$I = \int_a^b f(x) dx . \quad (3.1)$$

Численно такой определенный интеграл равен площади фигуры, ограниченной графиком функции  $f(x)$  на интервале  $[a, b]$ , осью абсцисс и двумя нормальными к оси абсцисс  $x = a$ ;  $x = b$ .

В компьютерном инжиниринге используется численное интегрирование. Численное интегрирование применяется к таблично заданным функциям, а также при взятии интегралов от достаточно сложных функций, которые предварительно приводятся к дискретному виду.

Все методы приближенного вычисления определенного интеграла основаны на том, что интервал интегрирования разбивается на подынтервалы. Затем на каждом подынтервале подынтегральная функция приближенно заменяется более простой функцией известного вида, например полиномом первого или второго порядка, т.е. такой функцией, от которой интеграл берется легко. При этом каждый участок исходного графика функции заменяется горизонтальной или наклонной прямой, параболой второго порядка или полиномиальной кривой более высокого порядка. На практике мы можем не знать аналитическую функцию, связывающую точки, поступившие на расчет; тогда точки функции, представленной дискретно, соединяются полиномами.

В результате получаются формулы интегрирования, называемые квадратурными, которые имеют вид взвешенной суммы ординат таблично заданной функции в отдельных точках:

$$I = \int_a^b f(x) dx \approx \sum_i \beta_i f(x_i), \quad (3.2)$$

где  $f(x_i)$  – значения исходной функции в отдельных точках,

$\beta_i$  – весовые коэффициенты соответствующих точек.

Чем меньше участки, на которых производят замену, тем точнее вычисляется интеграл. Поэтому исходный отрезок  $[a, b]$  для повышения точности целесообразно разбить на множество равных (или неравных) участков, затем на каждом участке следует применить формулу интегрирования и сложить результаты.

На практике обычно требуется вычислить интеграл с некоторой заданной точностью, то есть должно выполняться условие  $R \leq \varepsilon$ , где  $R$  – критерий точности,  $\varepsilon$  – допустимая величина погрешности вычислений.

Ошибка численного интегрирования зависит от количества участков разбиения, а значит – от величины шага. Погрешность численного интегрирования в большинстве случаев можно оценить, вычислив интеграл с исходным шагом  $h = (b - a) / n$  для  $n$  интервалов разбиения области интегри-

рования  $[a, b]$  и аналогичный интеграл с удвоенным шагом. Разница значений интеграла, вычисленного с исходным и уменьшенным вдвое количеством интервалов разбиения, определяет погрешность численного интегрирования.

Сравнение эффективности различных методов проводится по степени полинома, который может быть проинтегрирован данным методом точно, без ошибки. Чем выше степень интегрируемого без ошибки полинома, тем выше точность метода, тем эффективнее данный метод.

### 3.2. Метод прямоугольников

Метод прямоугольников является наиболее простым методом численного интегрирования. При использовании этого метода подынтегральная функция  $f(x)$  на каждом участке разбиения заменяется линейной функцией, задающей на графике горизонтальную прямую (рис. 3.1) типа  $y = c_0$ , где  $c_0$  – значение исходной функции в конечной точке элементарного участка слева (метод левых прямоугольников) или справа (метод правых прямоугольников).

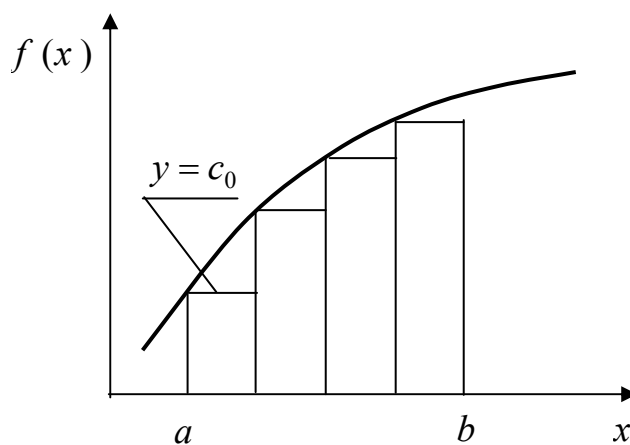


Рис. 3.1. Иллюстрация метода левых прямоугольников

При разбиении отрезка  $[a, b]$  на  $n$  частей с равномерным шагом  $h = (b - a) / n$  формула интегрирования методом левых прямоугольников имеет вид

$$I = \int_a^b f(x) dx \approx \sum_{i=0}^{n-1} f(x_i) h = h \sum_{i=0}^{n-1} f(x_i), \quad (3.3)$$

где шаг интегрирования представляет весовой коэффициент и является константой для всех точек исходной функции  $h = \beta_i = const$ .

Соответственно, метод правых прямоугольников можно выразить формулой

$$I = \int_a^b f(x)dx \approx \sum_{i=1}^n f(x_i)h = h \sum_{i=1}^n f(x_i) . \quad (3.4)$$

Методом прямоугольников интеграл вычисляется абсолютно точно только для функций, представляемых горизонтальной линией:  $f(x) = const$ . Для других функций этот метод не находит большого практического применения в силу значительных погрешностей.

*Пример 3.1.* Вычислить интеграл  $I = \int_0^1 x^3 dx$  методом левых прямоугольников и методом правых прямоугольников, разделив область интегрирования на 10 и на 100 участков. Оценить погрешность вычислений.

*Решение.* Аналитическое вычисление данного интеграла дает значение  $I = \frac{1}{4}x^4 \Big|_0^1 = 0.25$ . Результаты дискретных расчетов сведены в таблицу.

| Параметр                                                               | $n = 10$ | $n = 100$ |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| Интеграл, вычисленный методом левых прямоугольников                    | 0.2025   | 0.245025  |
| Интеграл, вычисленный методом правых прямоугольников                   | 0.3025   | 0.255025  |
| Интеграл, вычисленный методом левых прямоугольников с удвоенным шагом  | 0.1600   | 0.240100  |
| Интеграл, вычисленный методом правых прямоугольников с удвоенным шагом | 0.3600   | 0.260100  |
| Оценка ошибки вычислений методом левых прямоугольников                 | 0.05     | 0.005     |
| Оценка ошибки вычислений методом правых прямоугольников                | 0.06     | 0.005     |

*В качестве резюме по результатам расчетов.* Как видно из таблицы, результат численного интегрирования при разбиении области определения на 10 элементарных участков является неудовлетворительным, а при разбиении на 100 участков обеспечивает точность во втором знаке.

□

При решении инженерных задач численными методами с использованием компьютерных программ всегда возникает, с одной стороны, проблема выбора между большим количеством расчетных точек, обеспечивающим точность решения, но требующим больших машинных ресурсов, и, с другой стороны, малым счетным временем компьютера, позволяющим находить решение быстро. Золотая середина обычно определяется «методом проб и оценки ошибок». Для выявления оптимального объема расчетной задачи проводится численное решение с небольшим количеством точек; затем количество точек увеличивается, решение повторяется, и так до достижения значения, при котором расчетный результат с учетом заданной точности перестает зависеть от количества расчетных точек.

### 3.3. Метод трапеций

В методе трапеций подынтегральная функция  $f(x)$  заменяется линейной функцией, задающей на графике наклонную прямую (рис. 3.2) типа  $y = c_1x + c_0$ .

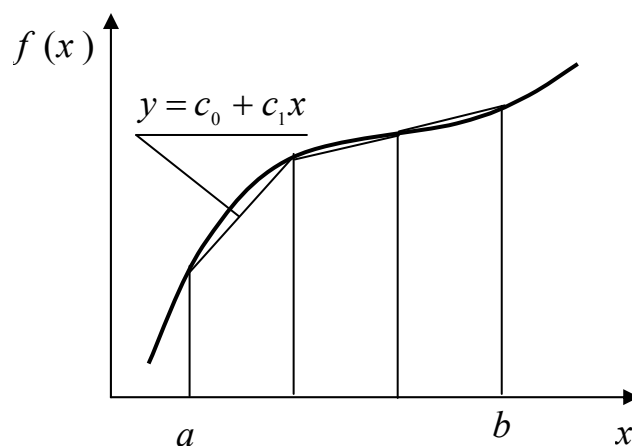


Рис. 3.2. Иллюстрация метода трапеций

Интеграл заменяется суммой площадей трапеций. Соответственно при разбиении отрезка  $[a, b]$  на  $n$  частей с равномерным шагом  $h = (b - a) / n$  формула интегрирования методом трапеций имеет вид

$$\begin{aligned}
 I &= \int_a^b f(x) dx \approx \sum_{i=0}^{n-1} (f(x_i) + f(x_{i+1})) \frac{h}{2} = \\
 &= \frac{h}{2} f(x_0) + h \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + \frac{h}{2} f(x_n) \quad ,
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

где шаг интегрирования представляет весовой коэффициент и является константой для всех точек исходной функции  $h = \beta_i = const$  за исключением крайних точек, для которых весовой коэффициент вдвое меньше:

$$\beta_0 = \beta_n = \frac{h}{2}.$$

Методом трапеций можно точно вычислить только интегралы линейных и линейно-кусочных функций  $f(x)$ . По сравнению с методом прямоугольников метод трапеций является более точным, поскольку использует для описания исходных данных полином первого порядка.

Погрешность  $R$  вычислений интеграла методом трапеций можно оценить при использовании двойного просчета его значения с начальным и увеличенным вдвое шагом интегрирования:

$$R \leq \frac{|I_{2n} - I_n|}{3}, \quad (3.6)$$

где  $I_n$  и  $I_{2n}$  – соответственно приближенные значения интеграла при числе разбиений  $n$  и  $2n$ . Фактически при оценке погрешности  $R$  приближенное значение интеграла  $I_{2n}$  вычисляется с использованием всех значений таблично заданной функции  $f(x)$ , а при вычислении значения  $I_n$  каждое второе табличное значение функции в суммировании не участвует.

Можно начать приближенное вычисление интеграла с небольшим количеством шагов, и далее повторять вычисление, увеличивая число шагов. Удваивая на каждом этапе количество элементарных участков  $n$  и контролируя погрешность, можно подобрать такой шаг интегрирования, который обеспечивает заданную погрешность.

*Пример 3.2.* Вычислить интеграл  $I = \int_0^1 x^3 dx$  методом трапеций. Най-

ти шаг интегрирования, обеспечивающий точность вычислений интеграла в третьем знаке.

*Решение.* Аналитическое вычисление данного интеграла дает значение  $I = \frac{1}{4} x^4 \Big|_0^1 = 0.25$ .

Начнем приближенное вычисление интеграла, разбив отрезок  $[0,1]$  на 10 частей,  $n = 10$ . Затем последовательно станем удваивать число шагов,



каждый раз повторяя вычисление. Результаты произведенных расчетов сведены в таблицу.

| Число разбиений<br>$n$ | Значение интеграла<br>$I$ | Ошибка вычислений<br>$R$ |
|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 10                     | 0.062960                  |                          |
| 20                     | 0.250625                  | 0.06                     |
| 40                     | 0.250156                  | 0.0002                   |
| 80                     | 0.250039                  | 0.00004                  |

*В качестве резюме по результатам расчетов.* С увеличением числа разбиений расчетный результат стремится к точному значению, вычисленному аналитически. В произведенных расчетах точность вычисления данного интеграла в третьем знаке с использованием метода трапеций надежно достигается при разбиении области интегрирования на 40 элементарных участков.

□

### 3.4. Метод Симпсона

Метод базируется на замене подынтегральной функции квадратичным полиномом, задающим на графике параболу. Парабола строится на каждом элементарном участке по трем точкам (рис. 3.3) – по двум конечным точкам и одной срединной. По этим трем точкам определяют функцию параболы – полином второго порядка, который легко интегрируется аналитически и обеспечивает более высокую точность по сравнению с методом прямоугольников или трапеций. При решении задачи методом Симпсона интервал разбивают только на четное число участков.

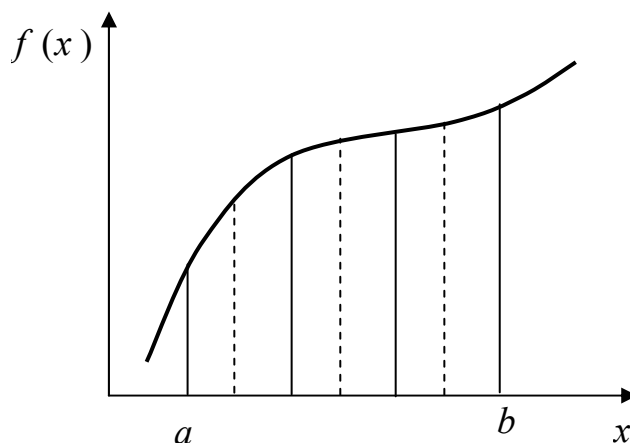


Рис. 3.3. Иллюстрация метода Симпсона

При разбиении отрезка  $[a, b]$  на  $2n$  частей с равномерным шагом  $h = (b - a) / 2n$  формула интегрирования методом Симпсона имеет вид

$$\begin{aligned}
 I &= \int_a^b f(x) dx \approx \\
 &\approx \frac{hf(x_0)}{3} + \frac{4h}{3} \sum_{i=1}^n f(x_{2i-1}) + \frac{2h}{3} \sum_{i=1}^{n-1} f(x_{2i}) + \frac{hf(x_{2n})}{3} = \\
 &= \sum_{i=0}^{2n} \beta_i f(x_i) \quad ,
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

где шаг интегрирования обуславливает весовой коэффициент, который различается для ординат с нечетными и четными номерами:  $\beta_0 = \beta_n = \frac{h}{3}$ ,

$$\beta_1 = \beta_3 = \dots = \beta_{n-1} = \frac{4h}{3}, \quad \beta_2 = \beta_4 = \dots = \beta_{n-2} = \frac{2h}{3}.$$

Погрешность  $R$  вычислений интеграла методом Симпсона можно оценить при выполнении двойного просчета его приближенного значения с начальным и увеличенным вдвое шагом интегрирования:

$$R \leq \frac{|I_{2n} - I_n|}{15}, \tag{3.8}$$

где  $I_{2n}$  и  $I_n$  – соответственно значения интеграла при количестве участков разбиения  $2n$  и  $n$ . Удваивая на каждом этапе количество элементарных участков и контролируя погрешность, можно подобрать такой шаг интегрирования, который обеспечивает заданную погрешность.

*Пример 3.3.* Вычислить приближенно интеграл  $I = \int_0^1 \frac{dx}{1+x^2}$  методом

Симпсона. Найти шаг интегрирования, обеспечивающий точность вычислений интеграла в третьем знаке.

*Решение.* Аналитическое вычисление данного интеграла дает значение  $I = \arctg(x) \Big|_0^1 = 0.7853981634$ . Начнем численное определение интеграла с разбиения отрезка  $[0,1]$  на 2 элементарных участка,  $n = 2$ ; тогда  $x_0 = 0$ ,  $x_1 = 0.5$ ,  $x_2 = 1$ ,  $h = 0.5$ . Затем будем последовательно удваивать

число шагов интегрирования и повторять вычисления. Результаты произведенных расчетов сведены в таблицу.

| Число разбиений | Значение интеграла | Ошибка вычислений |
|-----------------|--------------------|-------------------|
| $n$             | $I$                | $R$               |
| 2               | 0.783333333        |                   |
| 4               | 0.785392157        | 0.002             |
| 8               | 0.785398126        | 0.000006          |

С увеличением числа разбиений расчетный результат стремится к точному значению, вычисленному аналитически.

□

Точность приближенного вычисления интегралов с использованием метода Симпсона достигается при значительно меньшем числе разбиений области интегрирования по сравнению с методом прямоугольников или методом трапеций.

### 3.5. Метод Ньютона-Котеса

Метод предполагает замену подынтегральной функции полиномом  $k$ -го порядка. Расчетная формула для одного элементарного участка имеет вид

$$I = \int_a^b f(x) dx \approx (b-a) \sum_{i=0}^k f(x_i) H_i = \sum_{i=0}^k \beta_i f(x_i), \quad (3.9)$$

где  $k+1$  – число ординат, используемых для аппроксимации подынтегральной функции; и весовые коэффициенты  $\beta_i$  слагаемых зависят от коэффициентов Ньютона-Котеса  $H_i$ :  $\beta_i = (b-a)H_i$ ,  $x_0 = a$ , ...,  $x_i = a + i(b-a)/k$ .

Для замены подынтегральной функции полиномом третьей степени потребуется 4 точки, полиномом четвертой степени – 5 точек и т.д. Коэффициенты Ньютона-Котеса  $H_i$  не зависят от функции  $f(x)$ , определяются только порядком полинома  $k$ ; и это же значение равно необходимому количеству интервалов разбиения. Коэффициенты Ньютона-Котеса приведены в таблице.

| Порядок полинома<br>$k$ | Коэффициенты Ньютона-Котеса<br>$H_i$                                                          |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                       | $H_0 = H_1 = \frac{1}{2}$                                                                     |
| 2                       | $H_0 = H_2 = \frac{1}{6} \quad H_1 = \frac{2}{3}$                                             |
| 3                       | $H_0 = H_3 = \frac{1}{8} \quad H_1 = H_2 = \frac{3}{8}$                                       |
| 4                       | $H_0 = H_4 = \frac{7}{90} \quad H_1 = H_3 = \frac{16}{45} \quad H_2 = \frac{2}{15}$           |
| 5                       | $H_0 = H_5 = \frac{19}{288} \quad H_1 = H_4 = \frac{25}{96} \quad H_2 = H_3 = \frac{25}{144}$ |

Можно убедиться в том, что методы численного интегрирования, рассмотренные выше, являются частным случаем метода Ньютона-Котеса, а именно: при  $k = 1$  получаем метод трапеций, при  $k = 2$  получаем метод Симпсона. Метод Ньютона-Котеса дает устойчивый результат при  $k < 10$ . Большие значения порядка брать не следует.

При разбиении всего интервала на  $n$  элементарных участков формулу (3.9) можно применить для каждого участка, а полученные результаты вычислений сложить.

### 3.6. Метод Чебышева

Ранее мы рассмотрели формулы интегрирования с постоянным шагом, они имеют простой вид, но их использование не всегда приемлемо с точки зрения вычислительной эффективности. Метод Чебышева предполагает одинаковое значение весового коэффициента для всех шагов интегрирования, но при этом интервал интегрирования  $[a, b]$  разбивается на элементарные участки произвольно. Сама переменная интегрирования трансформируется  $x \rightarrow z$  и приводится к диапазону  $[-1, 1]$  согласно следующему правилу:

$$x = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}z . \quad (3.10)$$

Формула численного интегрирования методом Чебышева имеет вид

$$I = \int_a^b f(x) dx = \int_{-1}^1 f(z) dz \approx \frac{b-a}{k} \sum_{i=1}^k f(z_i), \quad (3.11)$$

где коэффициенты  $k$  обозначают число ординат, использующихся при расчетах на отдельных участках. Полином можно интегрировать без ошибки при значениях  $k$  от 2 до 9. Соответствующие коэффициентам  $k$  параметры  $z_i$  приведены в таблице.

| Число ординат<br>$k$ | Приведенные абсциссы<br>$z_i$                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 2                    | $-z_1 = z_2 = 0.577350$                                           |
| 3                    | $-z_1 = z_3 = 0.707107 \quad z_2 = 0$                             |
| 4                    | $-z_1 = z_4 = 0.794654 \quad -z_2 = z_3 = 0.187592$               |
| 5                    | $-z_1 = z_5 = 0.832498 \quad -z_2 = z_4 = 0.374541 \quad z_3 = 0$ |

### 3.7. Метод Гаусса

Метод не фиксирует в качестве констант ни весовые коэффициенты, ни шаги разбиения интервала интегрирования. Переменная интегрирования трансформируется  $x \rightarrow z$  и приводится к диапазону  $[-1,1]$  по формуле (3.10) аналогично методу Чебышева. Все весовые коэффициенты  $\beta_i$  и приведенные абсциссы  $z_i$  в методе Гаусса могут иметь разные значения. Формула численного интегрирования методом Гаусса имеет вид

$$I = \int_a^b f(x) dx = \int_{-1}^1 f(z) dz \approx \frac{b-a}{k} \sum_{i=1}^k \beta_i f(z_i), \quad (3.12)$$

где соответствующие коэффициентам  $k$  параметры  $z_i$  и  $\beta_i$  приведены в таблице.

| Число ординат<br>$k$ | Приведенные абсциссы $z_i$                         | Весовые коэффициенты $\beta_i$                                   |
|----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 2                    | $-z_1 = z_2 = 0.577350$                            | $\beta_1 = \beta_2 = 1$                                          |
| 3                    | $-z_1 = z_3 = 0.774597 \quad z_2 = 0$              | $\beta_1 = \beta_3 = 0.555555 \quad \beta_2 = 0.888889$          |
| 4                    | $-z_1 = z_4 = 0.861136$<br>$-z_2 = z_3 = 0.339981$ | $\beta_1 = \beta_4 = 0.347855$<br>$\beta_2 = \beta_3 = 0.652145$ |

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Можно ли методом прямоугольников получить точное значение определенного интеграла?
2. Как уменьшить в методе трапеций погрешность нахождения определенного интеграла?
3. Найдите приближенное значение интеграла  $I = \int_0^1 x^3 dx$ , разбив участок интегрирования на 10 частей, методом левых прямоугольников, методом трапеций, методом Симпсона. Оцените погрешность численного интегрирования.

## **ТЕМА 4. Интерполяция**

*«В любом наборе исходных данных самая надежная величина,  
не требующая никакой проверки,  
является ошибочной»  
Из законов Мерфи*

### **4.1. Концепция интерполяции**

Дискретное решение инженерных задач с использованием компьютерных программ требует введения исходных данных для расчета в виде таблично заданных функций. Значения дискретной функции получают также при измерении различных параметров и свойств с помощью приборов. Введенные или полученные в расчете дискретные данные при их дальнейшей обработке или при выполнении вычислений с их участием требуют, как правило, интерполяции. Основная задача интерполяции заключается в замене таблично заданной функции простой аналитической функцией и затем нахождение с ее помощью приближенных значений в тех точках внутри интервала, где исходная функция не задана.

Существующие данные можно использовать также для того, чтобы приближенно оценить возможные значения параметра за пределами определенной области. Такую «экспансию» за пределы исходной области определения осуществляют с помощью экстраполяции. Под экстраполяцией понимают приближенное восстановление функции в точках за пределами заданного интервала.

Важное применение интерполяция и экстраполяция находят в обработке экспериментальных данных, полученных, например, исследователями в измерениях или инженерами при контролировании технологических процессов. Графическая интерполяция линиями Безье используется во всех компьютерных программах, ориентированных на конструирование и создание изображений методами векторной графики.

Решение задачи интерполяции обеспечивается построением аналитической интерполяционной функции  $L(x)$ , приближенно заменяющей исходную функцию  $f(x_i)$ , заданную таблично. Интерполяционная функция проходит через все заданные исходные точки (рис. 4.1). Исходные точки называют *узлами интерполяции*.

С помощью интерполяционной функции можно распространить таблично заданную функцию на те области, в которых точное значение исходной функции неизвестно, и таким образом приближенно вычислить величину искомого параметра в произвольной точке, не совпадающей с интерполяционным узлом.

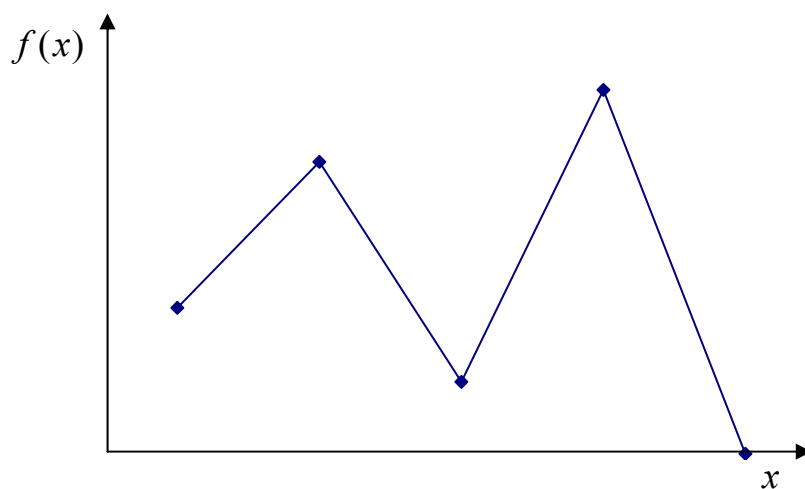


Рис. 4.1. Интерполяция дискретной функции линейными интерполяционными функциями

В связи с выполнением интерполяционной процедуры формулируются и решаются следующие задачи:

- 1) выбор наилучшей интерполяционной функции  $L(x)$ ;
- 2) оценка погрешности интерполяции  $R(x)$ ;

3) оптимальное размещение узлов интерполяции  $(x_0, x_1, \dots, x_n)$  для обеспечения наибольшей возможной точности восстановления таблично заданной функции.

Первая из перечисленных проблем интерполяции чаще всего решается выбором в качестве интерполяционной функции полинома  $L_n(x)$ , проходящего через заданные точки. С вычислительной точки зрения полиномы имеют полезные свойства, а именно, производные и интегралы от полиномов также являются полиномами. Это означает, что вычисления с использованием полиномов в каждой точке сводятся к выполнению только операций умножения и сложения.

Все интерполяционные методы, базирующиеся на использовании полиномов в качестве интерполяционной функции, приводят в итоге к одному единственно возможному результату. Это объясняется тем, что полином  $n$ -й степени, содержащий  $n + 1$  параметр и проходящий через все заданные  $n + 1$  точки, – единственный. Более того, полином можно представить как усеченный ряд Тейлора, в который разложили исходную дифференцируемую функцию. Существование и единственность решения является главным достоинством интерполяции полиномами.

В общем виде полином степени  $n$  имеет вид

$$P_n(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1} + c_nx^n = \sum_{k=0}^n c_k x^k \quad . \quad (4.1)$$

В качестве интерполяционных функций могут быть использованы также тригонометрические, экспоненциальные или другие функции. Выбор той или иной интерполяционной функции обусловлен конкретной постановкой задачи и ожидаемым изменением анализируемого параметра. Изменение параметра определяется его физической природой. Во многих случаях физическая природа искомого параметра известна. Например, температура изменяется по экспоненте, а упругая деформация нарастает линейно.

## **4.2. Метод Лагранжа**

Метод Лагранжа использует в качестве интерполяционной функции полином  $n$ -го порядка и позволяет таблично заданную функцию  $f(x_i) = y_i$ ,  $i = 0, \dots, n$ , значения которой известны в  $n + 1$  точках, восстановить в произвольной точке  $x$ , принадлежащей отрезку  $[x_0, x_n]$ .



Полином Лагранжа  $n$ -го порядка имеет вид

$$L_n(x) = f(x_0)A_0(x) + \dots + f(x_i)A_i(x) + \dots + f(x_n)A_n(x) = \sum_{i=0}^n y_i A_i(x), \quad (4.2)$$

где коэффициенты полинома  $A_i(x) = \frac{(x-x_0)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)}$  содержат в числителе  $n$  сомножителей первого порядка, а в знаменателе – произведение чисел; причем в перемножаемых разностях числителя и знаменателя присутствуют все интерполяционные узлы за исключением текущего.

Нетрудно заметить, что при вычислении полинома непосредственно в интерполяционных узлах, когда заданный аргумент интерполяционной функции равен  $x = x_j$ , коэффициенты полинома принимают значения:

$$A_i(x_j) = \frac{(x_j-x_0)\dots(x_j-x_{i-1})(x_j-x_{i+1})\dots(x_j-x_n)}{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)} = 0, \text{ если } i \neq j;$$

поскольку в этом случае в числителе присутствует разность  $(x_j - x_j)$ , и

$$A_i(x_j) = A_i(x_i) = \frac{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)}{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)} = 1, \text{ если } i = j;$$

поскольку в этом случае числитель равен знаменателю.

Тогда сам полином в интерполяционных узлах принимает соответствующие значения исходной функции:  $L_n(x_j) = f(x_j)$ .

*Пример 4.1.* Определить полином Лагранжа для линейной функции, проходящий через две точки  $(x_0, y_0)$  и  $(x_1, y_1)$ .

*Решение.* Линейная функция интерполируется полиномом первого порядка:

$$L_1(x) = y_0 A_0(x) + y_1 A_1(x) = y_0 \frac{x-x_1}{x_0-x_1} + y_1 \frac{x-x_0}{x_1-x_0}, \quad (4.3)$$

после преобразования получим линейную интерполяционную функцию, которая принимает значения исходной таблично заданной функции в интерполяционных узлах, причем полиномиальные коэффициенты выражаются через координаты интерполяционных узлов:

$$L_1(x) = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} x + \frac{y_0 x_1 - y_1 x_0}{x_1 - x_0}. \quad (4.4)$$

□

Решая пример 4.1, следует обратить внимание на очевидный способ построения интерполяционной функции: из условия прохождения функции через все точки можно составить систему уравнений типа  $y_j = \sum_i a_i x_j^i$ , из решения которой непосредственно вычисляются полиномиальные коэффициенты. При малом количестве интерполяционных узлов такой метод приемлем, но он становится неэффективным в случае большого числа анализируемых точек. Когда количество интерполяционных узлов велико, к явному вычислению коэффициентов полинома не прибегают, вместо этого используют вычислительную процедуру, основанную на определении вспомогательных полиномов согласно рекуррентному соотношению.

*Пример 4.2.* Горизонтальная балка длиной 1 м с квадратным сечением и высотой 0.01 м закреплена в точке  $x = 0$ ; в точке  $x = 1$  м приложена сила 100 Н, направленная вертикально вверх, противоположно ускорению гравитации. Известны вертикальные перемещения  $y_i$  рассматриваемой балки в нескольких точках  $x_i$ ; они приведены в таблице.

Провести интерполяцию методом Лагранжа известных перемещений и вычислить вертикальное перемещение балки в точке с координатой  $x = 0.9$  м с использованием 2, 3 и 4 интерполяционных узлов.

| Количество узлов интерполяции |                  |                   |         |                  |                   |         |                  |                   |
|-------------------------------|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|
| $N = 2$                       |                  |                   | $N = 3$ |                  |                   | $N = 4$ |                  |                   |
| $i$                           | $x_i, \text{ м}$ | $y_i, \text{ см}$ | $i$     | $x_i, \text{ м}$ | $y_i, \text{ см}$ | $i$     | $x_i, \text{ м}$ | $y_i, \text{ см}$ |
| 0                             | 1.0              | 0.20080           | 0       | 1.0              | 0.20080           | 0       | 1.0              | 0.20080           |
| 1                             | 0.8              | 0.14137           | 1       | 0.8              | 0.14137           | 1       | 0.8              | 0.14137           |
|                               |                  |                   | 2       | 0.7              | 0.11315           | 2       | 0.7              | 0.11315           |
|                               |                  |                   |         |                  |                   | 3       | 0.6              | 0.08675           |

*Решение.* Распишем полином Лагранжа и вычислим значение интерполяционной функции в искомой точке. Если число узлов интерполяции равно  $N$ , то порядок соответствующего интерполяционного полинома  $n$  будет на единицу меньше:  $n = N - 1$ .

$$N = 2$$

$$L_1(x) = y_0 A_0(x) + y_1 A_1(x) = y_0 \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} + y_1 \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}$$

$$L_1(x = 0.9) = 0.17109$$

$$N = 3$$

$$L_2(x) = y_0 A_0(x) + y_1 A_1(x) + y_2 A_2(x) =$$

$$= y_0 \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} + y_1 \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} + y_2 \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)}$$

$$L_2(x = 0.9) = 0.17059$$

$$N = 4$$

$$L_3(x) = y_0 A_0(x) + y_1 A_1(x) + y_2 A_2(x) + y_3 A_3(x) =$$

$$= y_0 \frac{(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_0 - x_3)} + y_1 \frac{(x - x_0)(x - x_2)(x - x_3)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} +$$

$$+ y_2 \frac{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_3)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} + y_3 \frac{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)}{(x_3 - x_0)(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)}$$

$$L_3(x = 0.9) = 0.17079$$

Результаты вычислений сведены в таблицу. Известно экспериментальное перемещение балки в данной точке:  $y(x = 0.9) = 0.17078$ , поэтому есть возможность оценить точность расчетов. В таблице сведены расчетные значения перемещений и приведены значения ошибки приближения для рассмотренных вариантов интерполяционных полиномов. Наиболее близким к известному решению является результат интерполяции по четырем точкам.

| Количество узлов интерполяции<br>$N$ | Вычисленное вертикальное перемещение, см<br>$y$ | Абсолютная ошибка вычислений, см<br>$\Delta y$ |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 2                                    | 0.17109                                         | 0.00031                                        |
| 3                                    | 0.17059                                         | -0.00020                                       |
| 4                                    | 0.17079                                         | 0.00001                                        |

□

Интерполяционные полиномы Лагранжа имеют простой вид и часто используются для теоретического анализа. Однако с точки зрения практи-

ческих вычислений рассмотренное здесь нерекуррентное представление применимо только для малого количества интерполяционных узлов  $n$ , как правило, не больше 10.

С увеличением  $n$  резко увеличивается объем вычислений, при этом сомножители в полиноме становятся громоздкими и начинают сильно осциллировать из-за накопления арифметических ошибок.

### 4.3. Метод Ньютона

Интерполяция по формулам Ньютона эффективна при обработке большого объема табличных данных и равномерном расположении интерполяционных узлов. Расстояние между узлами должно быть одинаковым. Метод позволяет прогнозировать значение дискретной функции, не размышляя о выборе и построении интерполяционной функции. В методе используется понятие конечных разностей, которые для дискретных функций являются аналогами дифференциалов непрерывных функций. Пусть исходная функция задана таблично для  $n + 1$  точек  $f(x_i) = y_i$ ,  $i = 0, \dots, n$ , расположенных равномерно на числовой оси согласно условию  $x_{i+1} = x_i + h$ , причем шаг по оси абсцисс можно выразить через крайние значения интервала:  $h = (x_n - x_0) / n$ .

*Определение конечных разностей.* Конечные разности нулевого порядка  $\Delta^0 y_i$  равны значениям функции в интерполяционных узлах:  $\Delta^0 y_i = y_i$ . Конечные разности первого порядка равны разностям между значениями функции в соседних узлах интерполяции  $\Delta^1 y_i = y_{i+1} - y_i$ .

Используя конечные разности первого порядка, можно вычислить конечные разности второго порядка:

$$\Delta^2 y_i = \Delta^1 y_{i+1} - \Delta^1 y_i = (y_{i+2} - y_{i+1}) - (y_{i+1} - y_i) . \quad (4.5)$$

По аналогии можно продолжить вычисление конечных разностей более высоких порядков. Методом математической индукции можно доказать, что конечная разность  $k$ -го порядка в  $i$ -й точке вычисляется через конечные разности более низкого порядка ( $k - 1$ ):

$$\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i . \quad (4.6)$$

*Ограничение конечных разностей.* При наличии  $n + 1$  точек в исходных данных конечную разность первого порядка можно вычислить для первых  $n$  точек; а конечную разность  $k$ -го порядка – только для первых  $(n - k + 1)$  точек.

С учетом конечных разностей интерполяционный многочлен Ньютона представляется следующим выражением:

$$P_n(x) = y_0 + \frac{\Delta y_0(x - x_0)}{h} + \frac{\Delta^2 y_0(x - x_0)(x - x_1)}{2!h^2} + \frac{\Delta^3 y_0(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)}{3!h^3} + \dots + \frac{\Delta^n y_0(x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1})}{n!h^n} \quad (4.7)$$

Приведенная формула носит название первой интерполяционной формулы Ньютона и рекомендуется для применения при интерполяции вперед, т.е. в сторону увеличения  $x$ , или при экстраполяции назад, т.е. левее  $x_0$  на числовой оси. Конечные разности в формуле Ньютона представляют собой числовые коэффициенты, рассчитанные по исходным значениям таблично заданной функции и по величине шага интерполяции, который, как мы помним, задается постоянным.

Формула Ньютона может быть записана через безразмерную переменную  $q = \frac{x - x_0}{h}$ , показывающую, сколько содержится шагов от начальной точки  $x_0$  до заданной точки  $x$ :

$$P_n(x) = y_0 + \Delta y_0 q + \frac{\Delta^2 y_0 q(q - 1)}{2!} + \frac{\Delta^3 y_0 q(q - 1)(q - 2)}{3!} + \dots + \frac{\Delta^n y_0 q(q - 1)\dots(q - n + 1)}{n!} \quad (4.8)$$

Следует отметить, что в формуле Ньютона (4.7) безразличен порядок нумерации узлов, и это дает возможность подключать к исходным данным дополнительные узлы с постоянным заданным шагом  $h$  для построения полинома более высокого порядка.

При вычислениях по формуле Ньютона (4.8) слагаемые ряда добавляются в сумму последовательно с увеличением порядка вычисляемых конечных разностей; при этом точность расчетов удобно оценивать, наблюдая за тем, насколько быстро убывают члены ряда. Если это происходит

достаточно быстро, в сумме можно оставлять только те слагаемые, которые больше заданной погрешности расчетов.

Погрешность интерполяции методом Ньютона можно оценить по формуле

$$\begin{aligned}
 R(x) &= |f(x) - P_n(x)| \leq \frac{M_{n+1}}{(n+1)!} \prod_{i=0}^n (x - x_i) = \\
 &= \frac{M_{n+1} h^{n+1}}{(n+1)!} q(q-1)(q-2)\dots(q-n) = \\
 &= \frac{\Delta^{n+1} y_0}{(n+1)!} q(q-1)(q-2)\dots(q-n),
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

где  $M_{n+1} = \max |f^{(n+1)}(x)|$  – максимальное значение  $(n+1)$ -й производной исходной функции  $f(x)$  на отрезке между наименьшим и наибольшим из значений аргумента  $[x_0, x_n]$ .

Согласно формуле (4.8) с уменьшением расстояния между узлами интерполяции (шага)  $h$  погрешность представления функции полиномом Ньютона убывает. Для оценки этой погрешности необходима некоторая дополнительная информация об исходной функции; такой информацией является производная  $(n+1)$ -го порядка, для вычисления которой потребуется несколько дополнительных точек  $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots$ . Производные таблично заданной функции с постоянным шагом  $h$  можно выразить через конечные разности  $\Delta y$  и расстояние между интерполяционными узлами  $h$  следующим образом:

$$\frac{df}{dx} \approx \frac{\Delta y}{h}, \quad \frac{d^2 f}{dx^2} \approx \frac{\Delta^2 y}{h^2}, \quad \dots \quad \frac{d^k f}{dx^k} \approx \frac{\Delta^k y}{h^k}. \tag{4.10}$$

*Пример 4.3.* Горизонтальная балка длиной 1 м с квадратным сечением и высотой 0.01 м закреплена в точке  $x=1$  м, в точке  $x=0$  приложена сила 100 Н, направленная вертикально вверх (противоположно ускорению гравитации).

Известны вертикальные перемещения  $y_i$  рассматриваемой балки в нескольких точках  $x_i$ ; они приведены в таблице.

Провести интерполяцию методом Ньютона и вычислить вертикальное перемещение в точке с координатой  $x = 0.05$  м; оценить погрешность вычислений.

|          |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $x$ , м  | 0       | 0.1     | 0.2     | 0.3     | 0.4     | 0.5     | 0.6     | 0.7     |
| $y$ , см | 0.20080 | 0.17078 | 0.14137 | 0.11315 | 0.08675 | 0.06275 | 0.04177 | 0.02440 |

*Решение.* Используем для интерполяции четыре первые точки, остальные точки используем для оценки погрешности.

Порядок интерполяционного полинома  $n = 3$ . Шаг аргумента исходной таблично заданной функции  $h = 0.1$  м. Значение относительного аргумента, определяющего количество шагов до исследуемой точки с координатой  $x = 0.05$  м, равно  $q = (x - x_0) / h = 0.5$ .

Составим таблицу конечных разностей, заполняя текущий столбец вычитанием ячеек в предыдущем столбце исходя из того правила, что конечная разность нулевого порядка равна значению функции. Далее конечная разность первого порядка вычисляется как разность значений функции; а конечная разность второго порядка получается вычитанием конечной разности первого порядка текущей точки из конечной разности первого порядка последующей точки. По аналогии вычисляются конечные разности более высокого порядка. Результаты вычислений приведены в таблице.

| $x$ , м | $y$ , см | $\Delta y$ | $\Delta^2 y$ | $\Delta^3 y$ | $\Delta^4 y$ |
|---------|----------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 0       | 0.20080  | -0.03002   | 0.00061      | 0.00058      | 0.00005      |
| 0.1     | 0.17078  | -0.02941   | 0.00119      | 0.00063      | -0.00005     |
| 0.2     | 0.14137  | -0.02822   | 0.00182      | 0.00058      | 0.00004      |
| 0.3     | 0.11315  | -0.02640   | 0.00240      | 0.00062      | -0.00003     |
| 0.4     | 0.08675  | -0.02400   | 0.00302      | 0.00059      |              |
| 0.5     | 0.06275  | -0.02098   | 0.00361      |              |              |
| 0.6     | 0.04177  | -0.01737   |              |              |              |
| 0.7     | 0.02440  |            |              |              |              |

Произведем вычисление по формуле Ньютона:

$$\begin{aligned}
P_n(x = 0.05) &= P_n(q = 0.5) = \\
&= y_0 + \Delta y_0 q + \frac{\Delta^2 y_0 q(q-1)}{2!} + \frac{\Delta^3 y_0 q(q-1)(q-2)}{3!} = \\
&= 0.20080 + (-0.03002) \cdot 0.5 + 0.00061 \cdot 0.5 \cdot (1-0.5)/2! + \\
&+ 0.00058 \cdot 0.5 \cdot (1-0.5) \cdot (2-0.5)/3! = 0.18575
\end{aligned}$$

Оценим погрешность найденного значения по максимальному модулю конечной разности четвертого порядка. Из таблицы находим, что конечная разность четвертого порядка  $\Delta^4 y_0 = 0.00005$ , тогда погрешность интерполяции равна

$$\begin{aligned}
R(x = 0.05) &= |f(x) - P_n(x)| \leq \frac{M_{n+1} h^{n+1}}{(n+1)!} q(q-1)(q-2)\dots(q-n) = \\
&= \frac{\Delta^4 y_0}{4!} q(q-1)(q-2)(q-3)(q-4) = 0.000007
\end{aligned}$$

Необходимо обратить внимание на тот факт, что конечные разности, и соответственно производные исходной функции, начиная с третьего порядка, осциллируют. Следовательно, надежной в данном случае можно признать интерполяцию полиномами Ньютона не выше второго порядка. Вычисленные значения вертикальных перемещений балки в исследуемой точке  $x = 0.05$  и соответствующие погрешности вычислений при использовании полиномов разного порядка приведены в таблице.

| Число узлов<br>интерполяции<br>$N$ | Порядок<br>полинома<br>$n$ | Вычисленное<br>значение, см<br>$y$ | Оценка<br>ошибки<br>$R$ |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 2                                  | 1                          | 0.18575                            | 0.000007                |
| 3                                  | 2                          | 0.18571                            | 0.0001                  |
| 4                                  | 3                          | 0.18579                            | 0.0007                  |

Значения вертикального перемещения балки в заданной точке, вычисленные интерполяцией по полиномам первого, второго и третьего порядков, различаются в пятом знаке после запятой, что удовлетворяет точности в определении вертикального прогиба (в см) для стальной балки длиной 1 м и высотой 1 см. По самой грубой оценке вертикальное перемещение балки в заданной точке составляет 1.86 мм с погрешностью 0.01 мм.



Точность проведенных вычислений, исходя из физического смысла определяемого параметра, является достаточной.

□

#### **4.4. Интерполяция сплайнами**

При большом количестве узлов интерполяции приходится использовать интерполяционные полиномы высокой степени, что создает проблемы при организации вычислительных операций. Высокой степени интерполяционного полинома можно избежать, если разбить весь интервал определения на несколько подынтервалов и на каждом подынтервале применить свою интерполяционную функцию. Такой «кусочный» подход требует «сшивки» интерполяционных функций для соседних подынтервалов в точках перехода, чтобы обеспечить непрерывность суммарной интерполяционной функции и ее первой производной. Наиболее распространенным методом «кусочной» интерполяции является сплайн-интерполяция.

Слово «сплайн» переводится как «гибкая линия». Сплайн можно использовать для проведения кривой линии через заданную совокупность точек, изгибая линию между точками и добиваясь, чтобы она проходила через все рассматриваемые точки. Строго говоря, сплайн – это функция, которая на каждом междуузловом подынтервале совпадает с некоторым полиномом, своим для каждого подынтервала. Полиномы соседних подынтервалов стыкуются в граничных точках таким образом, чтобы интерполяционная функция в целом была непрерывной.

Наибольшее распространение получила интерполяция с помощью кубических сплайнов. Кубический сплайн «склеивается» из полиномов третьей степени, которые для любого  $i$ -го участка записываются в виде

$$y = a_i(x - x_i)^3 + b_i(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i . \quad (4.11)$$

Соответственно на всем интервале определения исходной функции будет построено  $n$  кубических полиномов, отличающихся коэффициентами  $a_i, b_i, c_i, d_i$ . Можно доказать, что задача нахождения кубического сплайна имеет единственное решение.

Рассмотрим вариант сплайновой интерполяции в случае равномерного расположения интерполяционных узлов, т.е. для исходных данных выполняется условие:  $x_{i+1} - x_i = const = h$ . Чтобы вычислить четыре полино-

миальных коэффициента на текущем участке, следует составить четыре уравнения, которые отражают следующие условия:

1) условие прохождения сплайна через начальную точку  $(x_i, y_i)$  каждого участка;

2) условие прохождения сплайна через конечную точку  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  каждого участка;

3) условие гладкости функции в узлах интерполяции, т.е. непрерывности первой производной; математически это условие записывается как равенство первых производных в конце  $i$ -го участка и в начале  $(i + 1)$ -го;

4) условие гладкости первой производной в узлах интерполяции, т.е. непрерывности второй производной, что означает равенство вторых производных в конце  $i$ -го участка и в начале  $(i + 1)$ -го.

Учтем, что производные кубического сплайна записываются следующим образом:

$$\frac{dy}{dx} = 3a_i(x - x_i)^2 + 2b_i(x - x_i) + c_i \text{ и}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 6a_i(x - x_i) + 2b_i,$$

тогда можем записать перечисленные выше четыре условия сплайн-интерполяции для исходной функции с постоянным шагом  $h$  :

$$\begin{aligned} 1) y_i &= d_i, & i &= 0, 1, 2, \dots, n-1, \\ 2) y_{i+1} &= a_i h^3 + b_i h^2 + c_i h + d_i, & i &= 0, 1, 2, \dots, n-1, \\ 3) 3a_i h^2 + 2b_i h + c_i &= c_{i+1}, & i &= 0, 1, 2, \dots, n-2, \\ 4) 6a_i h + 2b_i &= 2b_{i+1}, & i &= 0, 1, 2, \dots, n-2. \end{aligned} \quad (4.12)$$

Составим из этих четырех условий, записанных для каждого участка исходной функции, систему линейных уравнений, содержащую  $(4n - 2)$  уравнения с  $4n$  неизвестными коэффициентами сплайнов  $a_i, b_i, c_i, d_i$ . Чтобы решить такую систему уравнений, необходимо добавить два дополнительных граничных условия. Граничные условия задают значения производных функции в конечных точках интервала и для сплайновой интерполяции могут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} y''(x_0) = y''(x_n) = 0, \\ y'(x_0) = y'(x_n) = 0. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Совместное решение 4  $n$  уравнений с 4  $n$  неизвестными позволяет найти коэффициенты кубических сплайнов на всех участках.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как можно повысить точность интерполяции?
2. Можно ли использовать метод Лагранжа для экстраполяции?
3. Как определить погрешность интерполяции в узле?
4. Можно ли в методе Ньютона выразить конечную разность только через исходные значения функции?
5. Сколько различных интерполяционных полиномов можно построить для  $n$  заданных точек?
6. Что называется кубическим сплайном?
7. Сколько коэффициентов, подлежащих определению, содержит кубический сплайн?
8. Какую функцию называют гладкой?
9. Могут ли узлы сплайнов располагаться неравномерно?
10. Как влияет количество узлов интерполяции на точность интерполяции?

## **ТЕМА 5. Аппроксимация**

*«Когда мы пытаемся из целого вытащить одно звено,  
обнаруживается, что оно прочно связано со всем остальным»  
Из законов Мерфи*

### **5.1. Концепция аппроксимации**

При наличии погрешности в исходных данных нецелесообразно применять для их анализа метод интерполяции и находить приближенную функцию, точно проходящую через все точки исходной таблично заданной функции. В таком случае прибегают к построению аппроксимирующей приближенной функции, которая проходит около заданных точек, причем наиболее близко к исходным точкам. Аппроксимация сглаживает обрабатываемые экспериментальные данные и позволяет, например, выделить полезный сигнал в потоке данных.

Методы аппроксимации применяют также к непрерывным функциям, когда есть необходимость получить упрощенное математическое описание сложной зависимости.

Пусть в результате измерений получена табличная зависимость величины  $y_i$  от величины  $x_i$ , которую можно графически представить набором точек на координатной плоскости (рис. 5.1). Если описать эту таблично заданную зависимость  $y_i(x_i)$  специально подобранной аналитической функцией  $\varphi(x)$ , то можно вычислить приближенное значение в любой точке заданного интервала. При подборе аналитической функции следует учесть, что каждое измерение было выполнено с некоторой погрешностью. Поэтому правомерно разрешить отклонение измеренной величины от значения, вычисленного в этой же точке согласно аппроксимирующей функции:  $\varepsilon_i = y_i(x_i) - \varphi(x_i)$ .

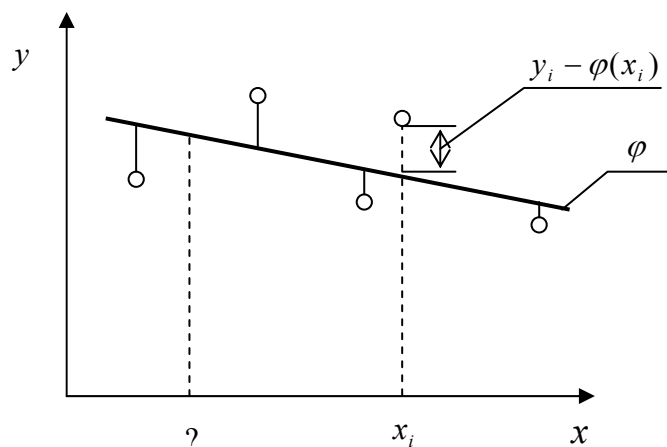


Рис.5.1. Исходные данные и аппроксимирующая функция

Близость исходной  $y_i(x_i)$  и аппроксимирующей  $\varphi(x)$  функций определяется некоторой числовой мерой, называемой критерием аппроксимации или критерием близости. Наибольшее распространение получил квадратичный критерий, равный сумме квадратов отклонений расчетных аппроксимирующих значений  $\varphi$  от исходных  $y_i$  для всех исходных точек  $x_i$ , в частности, экспериментальных значений, если проводится обработка результатов измерений (рис. 5.1). Итак, квадратичный критерий близости аппроксимирующей функции к исходной таблично заданной функции описывается выражением:

$$R = \sum_{i=1}^n \beta_i (y_i - \varphi(x_i))^2, \quad (5.1)$$

где  $y_i$  – заданные табличные значения функции,  $\varphi(x_i)$  – расчетные значения аппроксимирующей функции в тех же точках,  $\beta_i$  – весовые коэффициенты, учитывающие относительную важность каждой исходной точки.

Чем больше значимость некоторой точки  $i$  в исходных данных для описания прогнозируемого явления, тем выше назначается ее весовой коэффициент.

Квадратичный критерий дифференцируем и обеспечивает единственное решение задачи аппроксимации для полиномиальных аппроксимирующих функций.

Различают два типа задач аппроксимации, когда при описании исходных данных необходимо:

- 1) получить аппроксимирующую функцию, описывающую имеющиеся данные с погрешностью не хуже заданной;
- 2) либо получить аппроксимирующую функцию заданной структуры с наилучшей возможной погрешностью.

Примером второго типа задач является аппроксимация результатов измерений кривой Гаусса (рис. 5.2). Рассеяние значений случайной величины, изменение которой зависит от большого числа факторов, когда ни один из факторов не имеет преобладающего влияния, подчиняется закону нормального распределения вероятностей (закону Гаусса):

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.2)$$

где  $a$  – математическое ожидание случайной величины,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение случайной величины.

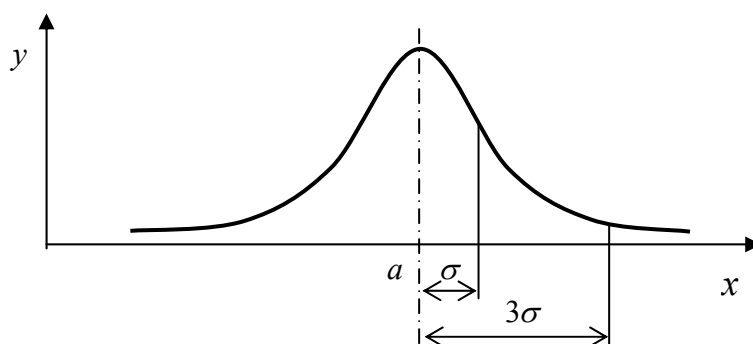


Рис. 5. 2. Кривая плотности вероятности нормального распределения

Закону Гаусса с некоторым приближением может подчиняться рассеяние погрешностей многократных измерений; рассеяние погрешностей изготовления; погрешности измерения линейных и угловых размеров, массы деталей, твердости и других механических и физических величин.

## 5.2. Метод наименьших квадратов

Метод наименьших квадратов базируется на применении в качестве критерия близости величины, равной сумме квадратов отклонений исходных и расчетных значений. Сумма квадратов отклонений выбирается в качестве критерия близости по аналогии с метрикой Евклидова пространства, где расстояние между точками определяется как длина вектора и выражается через сумму квадратов координат. Соответственно наименьший критерий близости при аппроксимации отражает минимальное пространственное отклонение аппроксимирующей функции от исходных данных. Если структура аппроксимирующей функции  $\varphi$  задана, то задача аппроксимации сводится к подбору таких параметров приближающей функции, которые обеспечивают наименьшее значение критерия близости, что собственно и соответствует наилучшей аппроксимации.

Рассмотрим в качестве примера полиномиальную аппроксимирующую функцию, которая в частном случае может вырождаться в линейную зависимость:

$$\varphi(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_{k-1}x^{k-1} + a_kx^k = \sum_{j=0}^k a_jx^j . \quad (5.3)$$

Пусть весовые коэффициенты исходных точек одинаковы и равны  $\beta_i = 1$  при всех значениях индекса  $i$ , тогда критерий аппроксимации для аппроксимирующего полинома  $k$ -го порядка является функцией коэффициентов этого полинома и имеет вид

$$R = \sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{j=0}^k a_jx_i^j)^2 = R(a_0, a_1, \dots, a_{k-1}, a_k) . \quad (5.4)$$

Необходимым условием решения поставленной задачи является сведение к минимуму критерия аппроксимации, следовательно, искомые параметры аппроксимирующей функции – коэффициенты полинома – можно определить, приравняв к нулю частные производные критерия по этим параметрам:

$$\frac{\partial R}{\partial a_m} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{j=0}^k a_j x_i^j) (-x_i^m) = 0, \quad (5.5)$$

где индекс  $i = 1, 2, \dots, n$  обозначает расчетные точки, индекс  $j = 0, 1, 2, \dots, k$  обозначает коэффициенты полинома, индекс  $m = 0, 1, 2, \dots, k$  обозначает текущий коэффициент полинома.

Полученные при дифференцировании равенства (5.5) можно преобразовать, а именно – разделить на два, раскрыть скобки, изменить порядок суммирования:

$$\sum_{i=1}^n y_i (-x_i^m) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^k a_j x_i^j x_i^m = \sum_{j=0}^k a_j \sum_{i=1}^n x_i^j x_i^m - \sum_{i=1}^n y_i x_i^m = 0 \quad \text{или}$$

$$\sum_{j=0}^k a_j \sum_{i=1}^n x_i^j x_i^m = \sum_{i=1}^n y_i x_i^m, \quad j = 0, 1, 2, \dots, k, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5.6)$$

Таким образом, для полинома  $k$ -го порядка мы получили систему из  $k + 1$  уравнений с таким же количеством неизвестных параметров  $a_j$ , причем линейную относительно этих параметров. Такая система называется системой нормальных уравнений. Из ее решения находятся коэффициенты  $a_j$  полинома – аппроксимирующей функции, обеспечивающие минимум критерия аппроксимации  $R$ , а значит, и наилучшее возможное квадратичное приближение.

*Пример 5.1.* К конструкции приложена переменная сила. С помощью датчика в контрольной точке фиксируется перемещение. Найти полиномиальную аппроксимирующую функцию для перемещения контрольной точки по имеющимся экспериментальным данным. Вычислить коэффициенты полиномов первого и второго порядка, построить графики.

Исходные данные приведены в таблице и представлены на рис. 5.3.

|                |    |    |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------|----|----|----|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| $t, \text{с}$  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $y, \text{мм}$ | 10 | 15 | 18 | 14 | 7 | 3 | 6 | 9 | 10 | 8  | 5  | 2  | 1  | 2  | 4  |

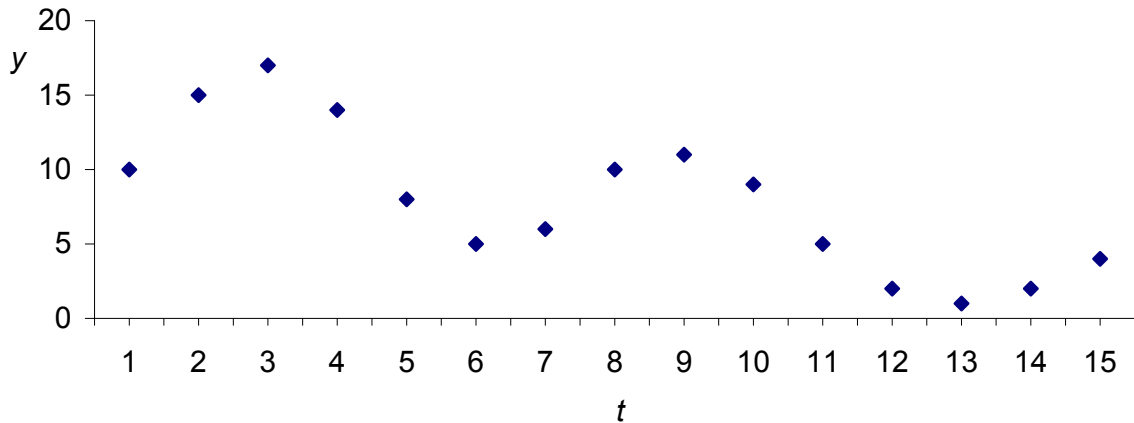


Рис. 5.3. Исходные данные

*Решение.* Число расчетных точек  $n = 15$ .

*Расчет 1. Аппроксимация линейным полиномом*

$k = 1$

Вычислим коэффициенты линейного полинома  $\varphi = a_0 + a_1 t$ . Система нормальных уравнений содержит два уравнения:

$$m = 0, \quad t_i^m = 1, \quad a_0 \sum_{i=1}^n t_i^0 + a_1 \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i,$$

$$m = 1, \quad t_i^m = t_i, \quad a_0 \sum_{i=1}^n t_i^0 t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i t_i,$$

$$\text{или} \quad \begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i t_i \end{cases} \quad \begin{cases} a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n y_i t_i - \sum_{i=1}^n t_i^2 \sum_{i=1}^n y_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2} \\ a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n t_i - n \sum_{i=1}^n y_i t_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2} \end{cases}.$$

Вычислим суммы:

$$\sum_{i=1}^{15} t_i = 120, \quad \sum_{i=1}^{15} y_i = 119, \quad \sum_{i=1}^{15} t_i^2 = 1240, \quad \sum_{i=1}^{15} y_i t_i = 708.$$

Решив систему уравнений, получим  $a_0 = 14.9$ ,  $a_1 = -0.87$ . Соответствующий график линейной аппроксимирующей функции приведен на рис. 5.4.



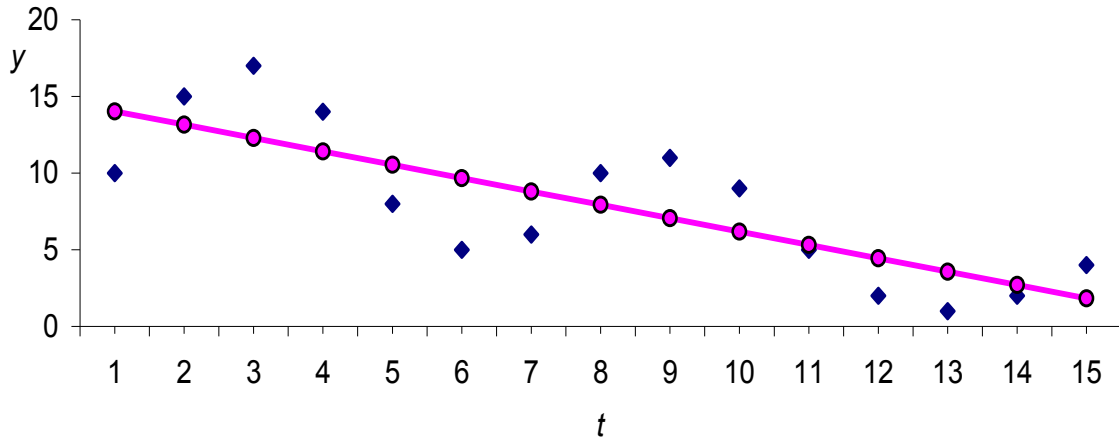


Рис. 5.4. Линейная аппроксимация исходной функции

*Расчет 2. Аппроксимация квадратичным полиномом*

$k = 2$

Вычислим коэффициенты полинома  $\varphi = a_0 + a_1t + a_2t^2$ . Система нормальных уравнений содержит три уравнения:

$$m = 0, \quad t_i^m = 1, \quad a_0 \sum_{i=1}^n t_i^0 + a_1 \sum_{i=1}^n t_i + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i,$$

$$m = 1, \quad t_i^m = t_i, \quad a_0 \sum_{i=1}^n t_i^0 t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i t_i + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^2 t_i = \sum_{i=1}^n y_i t_i,$$

$$m = 2, \quad t_i^m = t_i^2, \quad a_0 \sum_{i=1}^n t_i^0 t_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n t_i t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^2 t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i t_i^2,$$

$$\text{или} \quad \begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n t_i + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^3 = \sum_{i=1}^n y_i t_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^4 = \sum_{i=1}^n y_i t_i^2 \end{cases}.$$

Вычислим суммы  $\sum_{i=1}^{15} t_i = 120$ ,  $\sum_{i=1}^{15} y_i = 119$ ,  $\sum_{i=1}^{15} t_i^2 = 1240$ ,  $\sum_{i=1}^{15} y_i t_i = 708$ ,

$$\sum_{i=1}^{15} t_i^3 = 14400, \quad \sum_{i=1}^{15} t_i^4 = 178312, \quad \sum_{i=1}^{15} y_i t_i^2 = 5906.$$

Решив линейную систему уравнений, получим  $a_0 = 14.95$ ,  $a_1 = -0.88$ ,  $a_2 = 0.0000004$ . Соответствующий график аппроксимирующей функции приведен на рис. 5.5.

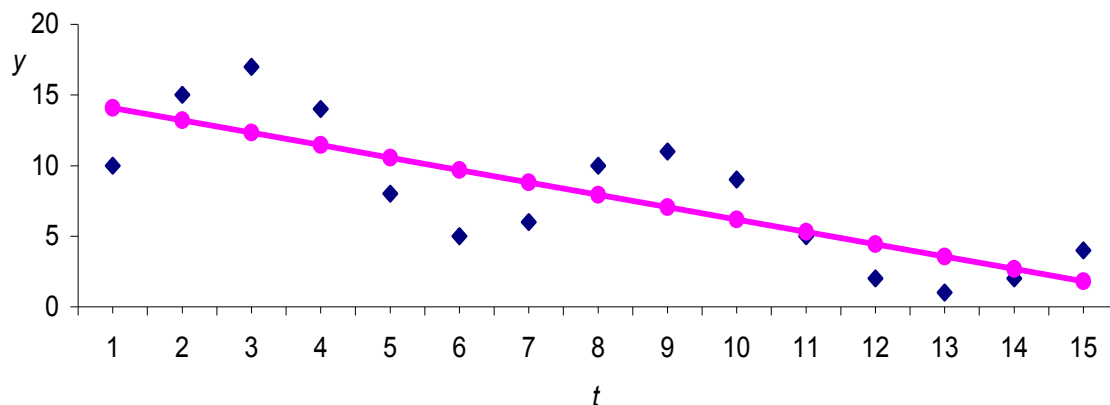


Рис. 5.5. Квадратичная аппроксимация исходной функции

□

Как видим, квадратичная аппроксимация мало отличается в приведенном примере от линейной, поскольку мал соответствующий коэффициент  $a_2 = 0.0000004$  в полиноме. Исследуемая табличная функция требует аппроксимации полиномом более высокого порядка. Вычисление коэффициентов полинома более высокого порядка с применением описанного алгоритма представляет собой трудоемкую задачу. Для решения такой задачи можно использовать встроенные модули прикладных программ. Например, на рис. 5.6 представлена аппроксимация полиномом пятого порядка исходных данных, приведенных в примере 5.1.

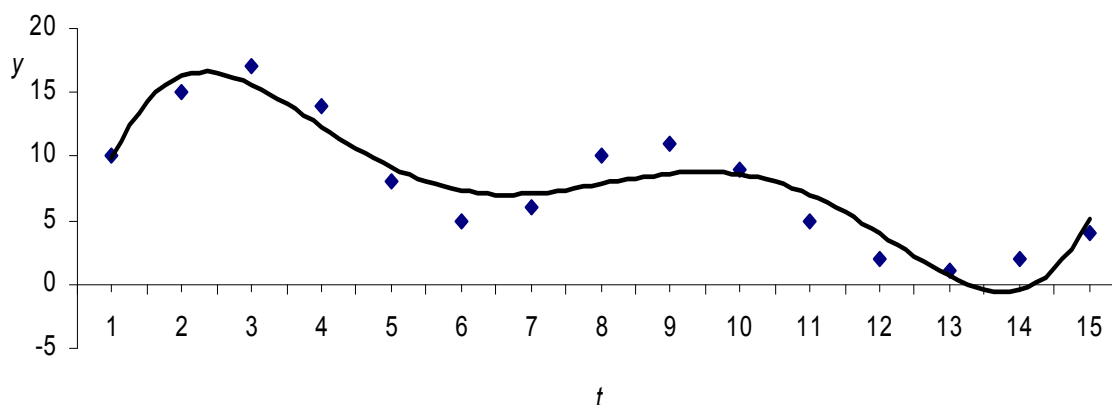


Рис. 5.6. Аппроксимация таблично заданной функции полиномом пятого порядка

### 5.3. Аппроксимация элементарными функциями

Аппроксимация дискретных данных, например последовательности показаний термометра с течением времени, не ограничивается линейной или полиномиальной зависимостью. В большинстве случаев для анализируемого процесса ожидается та функциональная зависимость, которая содержится в формулировке физического закона, описывающего этот процесс. Например, можно ожидать, что снижение температуры подчиняется экспоненциальному закону. Другой пример – при измерении предела выносливости получают последовательность значений предельного разрушающего напряжения в зависимости от количества циклов испытаний. Такая последовательность экспериментальных данных описывается логарифмической функцией. Соответственно чтобы найти предел выносливости как предельное значение последовательно представленных результатов измерения прочности образцов в зависимости от количества циклов нагружения, целесообразно аппроксимировать экспериментальные данные логарифмической функцией.

Для аппроксимации результатов измерений могут быть использованы любые элементарные функции: степенная, показательная, дробно-линейная, логарифмическая, гиперболическая, линейные комбинации перечисленных функций и функции произвольного вида. Причем аппроксимация табличных данных любой функцией, зависящей от двух коэффициентов, может быть сведена к нахождению линейной функции. Для всех нижеприведенных вариантов аппроксимации различными функциями продемонстрирован именно такой переход к нахождению коэффициентов линейной функции.

*Степенная функция.* Рассмотрим аппроксимирующую степенную функцию  $\varphi$ , которая в наиболее общем виде задается следующим выражением:

$$\varphi(x, a, m) = ax^m . \quad (5.7)$$

Предполагая, что все табличные значения аргумента и значения функции положительны, прологарифмируем обе части выражения при условии, что  $a > 0$ :

$$\ln \varphi = \ln a + m \ln x . \quad (5.8)$$

Так как функция  $\varphi$  является аппроксимирующей для таблично заданной функции  $y_i$ , то логарифмическая функция  $\ln \varphi$  будет аппроксимирующей для функции  $\ln y_i$ . Введем новую переменную  $u = \ln x$ , тогда, как следует из предыдущего выражения,  $\ln \varphi$  будет функцией от введенной переменной  $u$ :  $\Phi(u) = \ln \varphi$ .

Обозначим  $m = A$ ,  $\ln a = B$ , тогда  $\Phi(x, A, B) = Au + B$ , следовательно, задача об аппроксимации исходной таблично заданной функции аналитической степенной функцией свелась к отысканию приближающей функции в виде линейной зависимости.

На практике для нахождения приближающей функции в виде степенной выполняют следующие действия. В исходной таблице данных логарифмируют все значения  $x_i$  и  $y_i$ ; полученные величины помещают в новую таблицу. Затем вычисляют по новой таблице параметры  $A$  и  $B$  линейной приближающей функции. Вычисляют коэффициенты аппроксимирующей степенной функции  $a$  и  $m$ .

*Показательная функция.* Рассмотрим аппроксимирующую показательную функцию, которая в общем виде задается выражением:

$$\varphi(x, a, m) = ae^{mx}, \quad a > 0 \quad .$$

Прологарифмировав это равенство, получаем  $\Phi(x, A, B) = Ax + B$ .

Таким образом, аппроксимация показательной функцией сведена к поиску коэффициентов линейной функции.

*Дробно-линейная функция.* Рассмотрим аппроксимирующую дробно-линейную функцию, которая в общем виде задается следующим выражением:

$$\varphi(x, a, b) = \frac{1}{ax + b} \quad . \quad (5.9)$$

Обратим это выражение следующим образом:

$$\frac{1}{\varphi(x, a, b)} = ax + b \quad . \quad (5.10)$$

Из последнего равенства следует, что необходимо задать новую табличную функцию, заменив значения исходной таблично заданной функции обратными числами. Далее, используя новую табличную функцию, следует

найти коэффициенты  $a$  и  $b$ , подставить их в начальное выражение дробно-линейной функции и найти значения аппроксимирующей функции.

*Логарифмическая функция.* Рассмотрим аппроксимирующую логарифмическую функцию, которая в общем виде задается выражением

$$\varphi(x, a, b) = a \ln x + b \quad . \quad (5.11)$$

Для перехода от логарифмической функции к линейной достаточно ввести новую переменную  $u = \ln x$  и сделать подстановку. Следовательно, для нахождения коэффициентов  $a$  и  $b$  нужно прологарифмировать значения аргумента в исходной таблице данных. Далее, рассматривая полученные логарифмические значения в совокупности с исходными значениями функции, следует найти коэффициенты линейной функции  $a$  и  $b$ , подставить их в начальное выражение логарифмической функции и найти значения аппроксимирующей функции.

*Гиперболическая функция.* Рассмотрим аппроксимирующую гиперболическую функцию, которая в общем виде задается выражением

$$\varphi(x, a, b) = \frac{a}{x} + b \quad . \quad (5.12)$$

Для перехода к линейной функции достаточно ввести новую переменную  $u = \frac{1}{x}$  и сделать подстановку, тогда  $\varphi(x, a, b) = \varphi(u, a, b) = au + b$ .

Последовательность вычисления коэффициентов включает замену значений аргумента обратными числами и поиск коэффициентов линейной функции.

*Дробно-рациональная функция.* Рассмотрим аппроксимирующую дробно-рациональную функцию, которая задается выражением:

$$\varphi(x, a, b) = \frac{x}{ax + b} \quad . \quad (5.13)$$

Произведем замену дроби:  $\frac{1}{\varphi(x, a, b)} = a + \frac{b}{x}$ . Далее решение задачи аналогично аппроксимации гиперболической функцией. Введем замену:  $u = \frac{1}{x}$ ,  $\Phi = \frac{1}{y}$ . В таблице исходных данных заменяем значения функции и

аргумента на обратные числа и находим коэффициенты линейной зависимости  $\Phi(u, a, b) = bu + a$ .

*Аппроксимация линейной комбинацией функций.* Будем искать аппроксимирующую функцию  $\varphi(x)$  в виде линейной комбинации элементарных функций  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $f_3(x)$ :

$$\varphi(x) = af_1(x) + bf_2(x) + cf_3(x). \quad (5.14)$$

Применив метод наименьших квадратов, получим систему линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов  $a, b, c$ . Такая система уравнений в матричной записи имеет вид:

$$\begin{pmatrix} \sum f_1(x_i)^2 & \sum f_1(x_i)f_2(x_i) & \sum f_1(x_i)f_3(x_i) \\ \sum f_1(x_i)f_2(x_i) & \sum f_2(x_i)^2 & \sum f_2(x_i)f_3(x_i) \\ \sum f_1(x_i)f_3(x_i) & \sum f_2(x_i)f_3(x_i) & \sum f_3(x_i)^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i f_1(x_i) \\ \sum y_i f_2(x_i) \\ \sum y_i f_3(x_i) \end{pmatrix} \quad (5.15)$$

Решив полученную систему линейных уравнений любым известным способом, можно найти коэффициенты  $a, b, c$  и тем самым однозначно определить аналитическое выражение для аппроксимирующей функции.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Можно ли при аппроксимации полиномом таблично заданной функции обеспечить прохождении аппроксимирующей функции точно через все точки?
2. Каково назначение весовых коэффициентов в критерии близости исходной и аппроксимирующей функций?
3. Можно ли повысить точность, одновременно увеличив в несколько раз все весовые коэффициенты?
4. Можно ли с помощью метода наименьших квадратов найти параметры неполиномиальной аппроксимирующей функции?
5. Может ли степень аппроксимирующего полинома быть выше числа узлов аппроксимации?

## ТЕМА 6. Нелинейные уравнения

*«Есть правила для выбора решения,  
но нет правил для выбора этих правил»*

*Из законов Мерфи*

### **6.1. Концепция методов решения нелинейных уравнений**

Если законы функционирования некоторого инженерного объекта являются нелинейными, а моделируемые процессы или системы обладают одной степенью свободы (т.е. имеют одну независимую переменную), то модель объекта, как правило, описывается одним нелинейным уравнением. В общем случае нелинейное уравнение с одним неизвестным можно записать в виде  $f(x) = 0$ , где  $f(x)$  – некоторая непрерывная функция аргумента  $x$ .

Необходимость отыскания корней нелинейных уравнений встречается в расчетах систем автоматического управления и регулирования, собственных колебаний машин и конструкций, в задачах кинематического анализа и синтеза, плоских и пространственных механизмов и других задачах.

Как правило, численное решение нелинейного уравнения общего вида  $f(x) = 0$  осуществляется в два этапа. На первом этапе отделяют корни, т.е. находят такие отрезки на числовой прямой, внутри каждого из которых находится один корень. На втором этапе для каждого выделенного интервала уточняют корень, т.е. находят его приближенное значение  $x_r$  с предварительно заданной точностью  $\varepsilon$ .

Различают алгебраические и трансцендентные уравнения. Алгебраические уравнения путем алгебраических преобразований можно привести к каноническому виду

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 = 0, \quad (6.1)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – коэффициенты уравнения. Показатель  $n$  называют степенью алгебраического уравнения.

Если функция  $f(x)$  не является алгебраической, уравнение  $f(x) = 0$  называется трансцендентным. Пример трансцендентного уравнения:  $2^x + \cos(x) = 0$ . Трансцендентные уравнения могут иметь бесконечное

множество решений. В некоторых случаях решение трансцендентных уравнений можно свести к решению алгебраических уравнений.

Методы решения нелинейных уравнений делятся на *прямые* и *итерационные*. Прямые методы позволяют записать решение в виде некоторого соотношения, формулы. При этом значения корней могут быть вычислены по этой формуле за конечное число арифметических операций. Подобные методы развиты для решения тригонометрических, логарифмических, показательных, а также простейших алгебраических уравнений.

Однако подавляющее большинство нелинейных уравнений, встречающихся на практике, не удастся решить прямыми методами. Во всех таких случаях приходится обращаться к численным методам, позволяющим получить приближенные значения корней с заранее заданной точностью.

Идея нахождения приближенных значений корней нелинейных уравнений состоит в следующем. Прежде всего, некоторым образом выбирают *начальное приближение* к корню  $x_0 \in [a, b]$ . На основе этого значения по некоторой формуле вычисляют следующее приближение  $x_1$ , затем  $x_2$  и т.д. Каждый такой шаг называется *итерацией* (от латинского *iteratio* – повторение), а сами методы уточнения – *итерационными методами*. В результате итераций получается последовательность приближенных значений корня  $x_0, x_1, \dots, x_k, \dots$ , которая называется *итерационной последовательностью*.

*Первый этап: отделение корней.* Все методы отделения корней (методы локализации) базируются на очевидном свойстве непрерывных функций: корни уравнения  $f(x) = 0$  задаются точками пересечения графика функции  $f(x)$  с осью абсцисс  $y = 0$  и находятся между соседними экстремумами функции.

Отделение корней можно провести графически путем построения графика функции  $f(x)$  и выявления точек ее пересечения с осью абсцисс. В случае аналитического отделения корней находят все критические точки функции  $f(x)$ , т.е. точки, в которых производные равны нулю или не существуют (например, знаменатель обращается в нуль). Для этого необходимо дифференцировать функцию  $f(x)$ .

В найденных критических точках или в непосредственной близости от них определяют знак функции  $\text{sign } f(x_i)$ , включая знак функции на бесконечном удалении числовой оси  $-\infty$  и  $+\infty$ . Полученные данные ана-



лизируют: число смен знаков  $\text{sign } f(x_i)$  равно количеству корней. Причем каждый корень локализован в таком интервале, где на левой границе интервала и на правой его границе функция  $f(x)$  имеет разные знаки. Выявленные интервалы локализации корней можно сузить, используя дополнительные точки, которые заменяют границы в бесконечности.

*Пример 6.1.* Дано уравнение  $\frac{2}{3}x^3 - \frac{1}{2}x^2 - 6x + \frac{1}{3} = 0$ ; провести аналитическое отделение корней уравнения.

*Решение.* Анализируемая функция является полиномом третьей степени:

$$f(x) = \frac{2}{3}x^3 - \frac{1}{2}x^2 - 6x + \frac{1}{3},$$

ее производная также является полиномом:  $\frac{df}{dx} = 2x^2 - x - 6$ .

Найдем корни уравнения  $\frac{df}{dx} = 0$ ;  $2x^2 - x - 6 = 0$ ; преобразуем уравнение:

$$(x - 2)(2x + 3) = 0; \text{ корни уравнения: } x_1 = 2; \quad x_2 = -\frac{3}{2}.$$

Представим информацию об изменении знака функции  $f(x)$  на всей числовой оси в виде таблицы:

|                     |           |        |     |           |
|---------------------|-----------|--------|-----|-----------|
| $x$                 | $-\infty$ | $-3/2$ | $2$ | $+\infty$ |
| $\text{sign } f(x)$ | -         | +      | -   | +         |

Из таблицы видно, что уравнение  $f(x) = 0$  имеет три действительных корня:  $x_1 \in ]-\infty, -\frac{3}{2}[$ ;  $x_2 \in [-\frac{3}{2}, 2]$ ;  $x_3 \in ]2, +\infty[$ . Уменьшим промежутки, в которых находятся корни:

|                     |           |      |        |      |     |     |     |           |
|---------------------|-----------|------|--------|------|-----|-----|-----|-----------|
| $x$                 | $-\infty$ | $-3$ | $-3/2$ | $-1$ | $1$ | $2$ | $4$ | $+\infty$ |
| $\text{sign } f(x)$ | -         | -    | +      | +    | -   | -   | +   | +         |

Окончательно получаем, что корни уравнения находятся внутри интервалов  $x_1 \in \left[-3, -\frac{3}{2}\right]$ ,  $x_2 \in [-1, 1]$ ,  $x_3 \in [2, 4]$ .

□

*Второй этап: уточнение корней.* Уточнение корней можно проводить одним из трех следующих способов, различающихся концептуально.

*Первый способ:* поиск корня с заданной погрешностью сводится к перебору всех возможных значений аргумента. В каждой текущей точке проверяют наличие решения; такой поиск называют сканированием.

*Второй способ:* поиск корня нелинейного уравнения заменяется поиском корня более простого уравнения. Преимущественно выбирается линейная или параболическая функция. Поиск решения осуществляется посредством выполнения однотипных повторяющихся вычислений.

*Третий способ:* нелинейное уравнение  $f(x) = 0$  сводят к виду  $g(x) = \varphi(x)$  и стремятся обеспечить равенство левой и правой частей с помощью итерационных процедур.

Точное решение уравнения не всегда является необходимым. Задачу отыскания корней уравнения можно считать практически решенной, если мы сумеем найти корни уравнения с заданной степенью точности. Считается, что уравнение решено и его корень  $x_r$  с заданной погрешностью  $\varepsilon$  найден, если выполняется условие  $|f(x_r)| \leq \delta$  или  $|x_r - x_k| \leq \varepsilon$ , где  $\delta$ ,  $\varepsilon$  – предварительно заданные малые положительные величины,  $k$  – номер итерации. Согласно сформулированным условиям поиск корня методом итераций или методом сканирования прерывается в тот момент, когда близка к нулю левая часть уравнения или близки друг к другу два текущих значения  $x$ , между которыми находится решение.

При прочих равных условиях более эффективным считается такой метод уточнения корней, который позволяет найти решение с той же погрешностью за меньшее количество вычислений.

## **6.2. Метод сканирования**

*Метод сканирования* предусматривает деление всего интервала  $[a, b]$ , где отделен корень, на маленькие отрезки, равные заданной погрешности  $\varepsilon$ , с последующим вычислением значений функции  $f(x_i)$  на концах этих отрезков, т.е. в точках, расстояние между которыми не превышает ве-

личины погрешности (рис. 6.1). По значениям функции, вычисленным с шагом  $\varepsilon$ , выбирают тот отрезок  $[x_i, x_{i+1}]$ , где функция меняет знак.

За корень уравнения принимают середину выбранного отрезка:

$$x_r = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}. \quad (6.2)$$

Исходя из описанного алгоритма поиска корней уравнения, погрешность решения не будет превышать заданную погрешность  $\varepsilon$ .

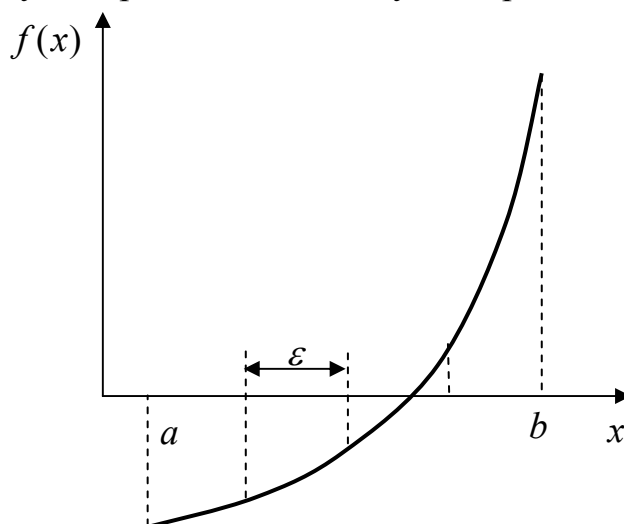


Рис. 6.1. Поиск корня методом сканирования

Объем вычислений при использовании метода сканирования можно уменьшить за счет разбиения интервала на отрезки с удвоенной длиной  $2\varepsilon$ . Другой способ повысить эффективность метода — проводить уточнение поэтапно с переменным шагом разбиения. На первом этапе задается большое значение шага и находится тот отрезок, где функция меняет знак. Затем найденный отрезок еще раз делится с меньшим шагом, корень находится более точно; и так далее.

### **6.3. Метод деления отрезка пополам**

*Метод деления отрезка пополам* предполагает деление интервала на две равные части, затем сравнивают знаки функции на концах каждой из двух половинок и выделяют ту половину, на концах которой знаки функции разные (рис. 6.2). Выделенную половину снова делят на две равные части, снова выбирают одну из половинок, содержащую корень, и т.д.

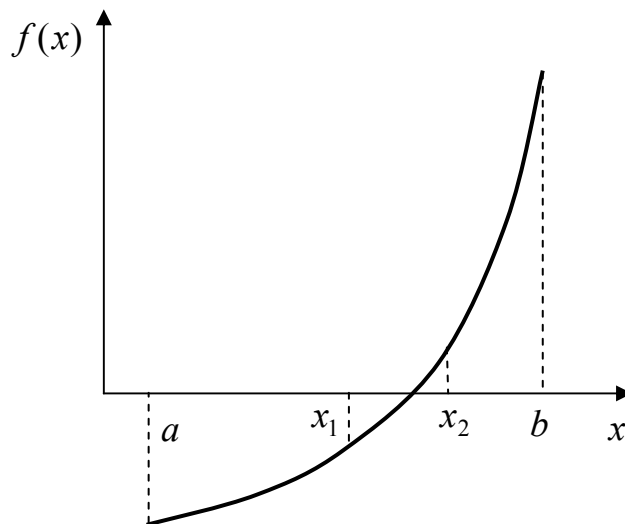


Рис. 6.2. Поиск корня методом половинного деления

Условием окончания итерационного процесса служит деление текущего отрезка на такие половинки, длины которых не превышают заданной погрешности  $\varepsilon$ .

#### 6.4. Метод хорд

Метод хорд предполагает, что на отделенном интервале  $[a, b]$  нелинейная функция  $f(x)$  заменяется линейной функцией. Заменяющая линейная функция отражается на графике хордой – отрезком, соединяющим граничные точки  $(a, f(a))$  и  $(b, f(b))$  нелинейной функции.

По линейному уравнению хорды можно найти точку ее пересечения с осью абсцисс и, соответственно, приближенное решение  $x_1$  на первом шаге вычислений. Найденная точка принимается за новую границу отрезка, в котором содержится корень. Через эту точку с координатами  $(x_1, f(x_1))$  и предварительно зафиксированную границу начального интервала снова проводят хорду, находят следующее приближение  $x_2$ , и т.д.

В результате получается последовательность значений  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$ , сходящаяся к корню (рис. 6.3). Условием прекращения вычислений может быть неравенство  $|x_i - x_{i-1}| \leq \varepsilon$ , а в качестве корня уравнения с точностью  $\varepsilon$  может быть принято значение  $x_i$ .

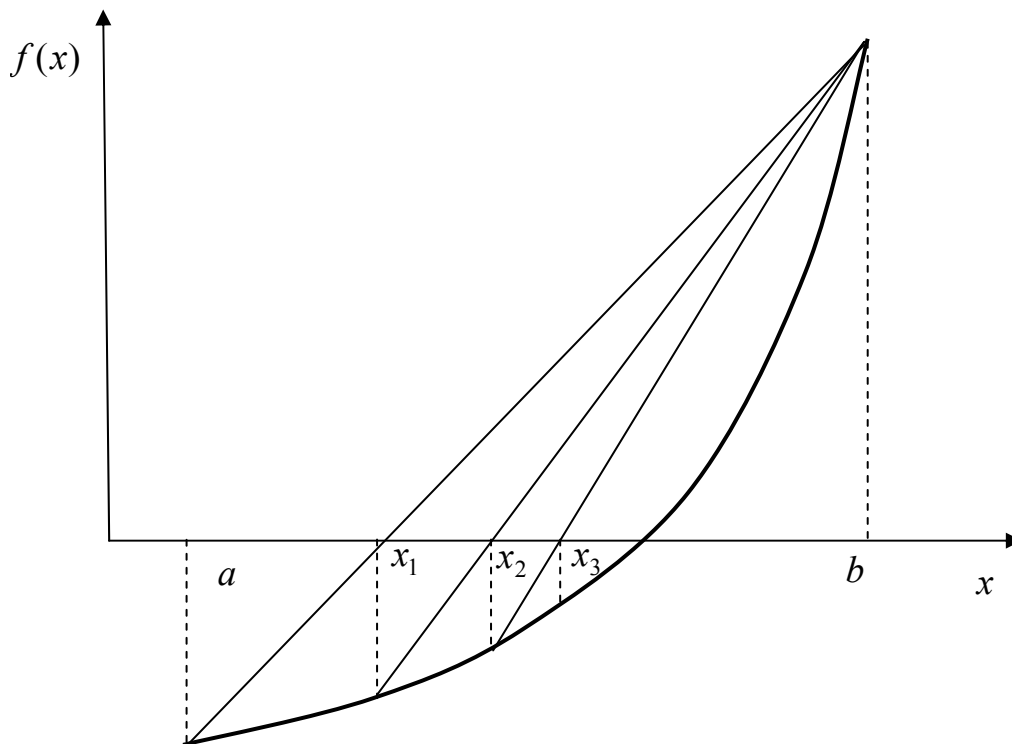


Рис. 6.3. Поиск корня методом хорд

Метод применим к монотонной на заданном участке функции. Фиксируется при этом правая или левая граница интервала в зависимости от вида функции.

Если  $f(b) \cdot f''(b) > 0$ , то фиксируется правая граница интервала (рис. 6.3) и вычисление производится по формуле

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f(b) - f(x_i)}(b - x_i); \quad (6.3)$$

при этом последовательность  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  приближается к корню слева.

Если  $f(a) \cdot f''(a) > 0$ , то фиксируется левая граница интервала и вычисление производится по формуле

$$x_{i+1} = a + \frac{f(a)}{f(a) - f(x_i)}(x_i - a); \quad (6.4)$$

при этом последовательность найденных решений  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  приближается к корню справа.

## 6.5. Метод касательных

Метод касательных (Ньютона) использует в качестве отсекающей прямой касательную к графику функции в текущей точке итерационной последовательности (рис. 6.4).

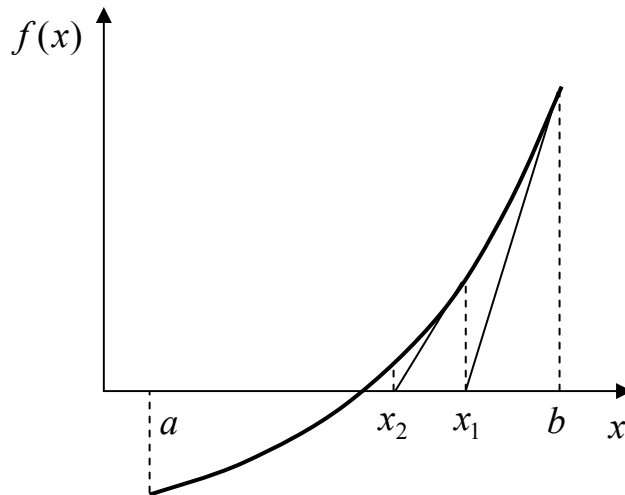


Рис. 6.4. Поиск корня методом касательных

Уравнение касательной, определяющее первую производную, задается по координате текущей точки и углу наклона касательной в этой точке. В качестве начальной точки можно выбрать левую ( $x_0 = a$ ) или правую ( $x_0 = b$ ) границу интервала. Левая точка интервала выбирается в том случае, если выполняется неравенство  $f(a) \cdot f''(a) > 0$ ; соответственно правая точка выбирается в том случае, если  $f(b) \cdot f''(b) > 0$ . Алгоритм итерационных вычислений записывается следующим образом:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}. \quad (6.5)$$

Алгоритм надежно работает, когда на выделенном интервале анализируемая функция  $f(x)$  является монотонной. Главным вычислительным достоинством метода является квадратичная скорость сходимости, что во многих случаях может привести к сокращению объема вычислений. Условие окончания поиска аналогично методу хорд.

## 6.6. Метод параболической аппроксимации

Метод параболической аппроксимации заменяет исходную функцию параболической функцией (рис. 6.5). Такая аппроксимация обеспечивает более быструю сходимость к решению.

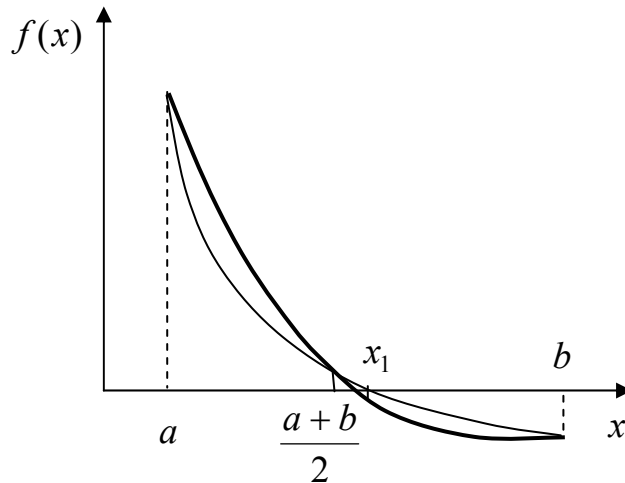


Рис. 6.5. Иллюстрация первого этапа при поиске корня методом параболической аппроксимации

На первом этапе для построения параболы выбирают три точки: две граничные точки  $(a, f(a))$ ,  $(b, f(b))$  и срединную точку ограниченного интервала с координатами  $((a+b)/2, f((a+b)/2))$ . По уравнению параболы  $y = c_2x^2 + c_1x + c_0$  находят приближенный корень, решая уравнение  $c_2x^2 + c_1x + c_0 = 0$ .

На втором этапе для построения параболы используют три точки:  $((a+b)/2, f((a+b)/2))$ ,  $(x_1, f(x_1))$ ,  $(b, f(b))$ . На третьем этапе для построения параболы будут использованы следующие три точки:  $((a+b)/2, f((a+b)/2))$ ,  $(x_2, f(x_2))$ ,  $(x_1, f(x_1))$ . Далее для построения парабол будет использована тройка предыдущих расчетных значений:  $(x_2, f(x_2))$ ,  $(x_3, f(x_3))$ ,  $(x_1, f(x_1))$ .

Такая процедура повторяется многократно до тех пор, пока величина отрезка, внутри которого находится корень, не станет меньше предварительно заданной погрешности.

## 6.7. Метод простой итерации

Метод простой итерации требует преобразования исходного уравнения  $f(x) = 0$  к виду

$$\varphi(x) = x \quad (6.6)$$

или в общем случае – к виду  $f(x) = g(x)$ . Существуют различные способы преобразования исходного уравнения к виду (6.6). Самый простой способ заключается в следующей замене:

$$f(x) = 0 \rightarrow \begin{cases} f(x) + x = 0 + x \\ f(x) + x = \varphi(x) \end{cases} \rightarrow \varphi(x) = x. \quad (6.7)$$

На начальном этапе переменной присваивают некоторое произвольное значение  $x_0$ , которое не является корнем уравнения, и соответственно  $\varphi(x_0) \neq x_0$ . На первом этапе вычисляют значение  $x_1 = \varphi(x_0)$ , которое является первым приближением к корню. Далее вычисляют следующее значение  $x_2 = \varphi(x_1)$  и т.д. В общем случае на некотором итерационном шаге приближенное решение исходного уравнения вычисляется как  $x_{i+1} = \varphi(x_i)$ . Условием окончания поиска может быть неравенство:  $|x_i - x_{i+1}| \leq \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – заданная погрешность решения.

Полученная последовательность значений  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{i+1}, \dots$  сходится к корню (рис. 6.6) при условии, что модуль производной заменяющей функции не превышает единицу:  $|\varphi'(x)| \leq 1$  на интервале  $[a, b]$ . Причем чем ближе модуль к нулю, тем выше скорость сходимости к решению.

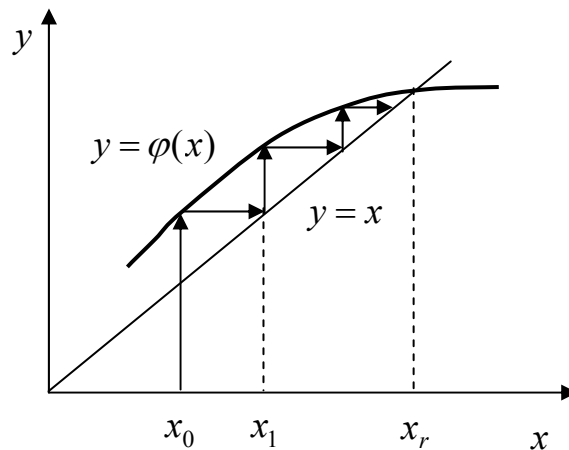


Рис. 6.6. Поиск корня методом простой итерации



Если условие  $|\varphi'(x)| \leq 1$  не выполняется, итерационная последовательность не сходится к искомому решению (рис. 6.7).

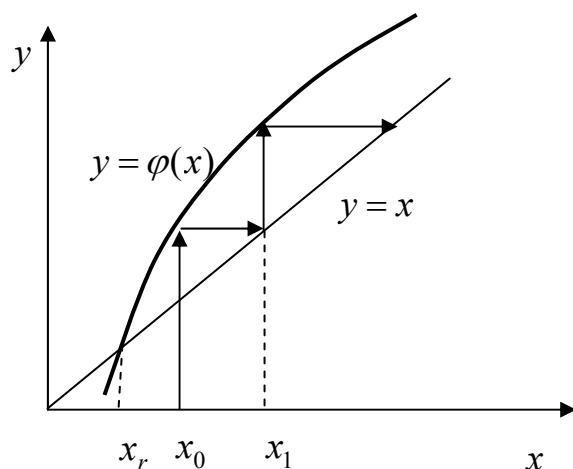


Рис. 6.7. Несходящийся итерационный процесс

Решение нелинейных уравнений с одним неизвестным является важной задачей компьютерного инжиниринга. Как правило, при решении научных и инженерных задач функция  $f(x)$  содержит ряд параметров, исследователя и инженера интересует поведение решений уравнения  $f(x, p_1, p_2, \dots, p_k) = 0$  в зависимости от параметров  $p_k$ . Не нарушая общности задачи, можно поменять местами неизвестное  $x$  и любой из параметров  $p_k$ , т.е. решить уравнение относительно другой неизвестной величины.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Можно ли найти корень методом деления отрезка пополам, если он находится на границе интервала?
2. Всегда ли метод хорд позволяет вычислить отделенный корень с заданной погрешностью?
3. В чем заключается геометрическая интерпретация метода Ньютона?
4. В каких случаях метод параболической аппроксимации не найдет корень уравнения?
5. Что называется сходимостью метода итераций?
6. Если на заданном отрезке имеется два корня, то что можно сказать о сходимости метода итераций на этом отрезке?

## ТЕМА 7. Системы линейных уравнений

*«Никогда не ставьте задачу,  
решение которой вам неизвестно»*

*Из законов Мерфи*

### **7.1. Концепция методов решения систем линейных уравнений**

Математические модели многих инженерных задач приводят к системам линейных алгебраических уравнений с большими и разреженными матрицами коэффициентов. В компьютерном инжиниринге нас прежде всего интересует решение уравнений с частными производными методами конечных разностей или конечных элементов.

Решение систем линейных уравнений в компьютерном инжиниринге проводится численными методами линейной алгебры. В линейной алгебре рассматриваются четыре класса задач: решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), вычисление определителей, нахождение обратных матриц, определение собственных векторов и собственных значений матриц. Все эти задачи имеют важное прикладное значение при решении различных научно-технических задач в компьютерном инжиниринге. Кроме того, задачи линейной алгебры являются вспомогательными при реализации многих алгоритмов вычислительной математики, математической физики, обработки результатов экспериментальных исследований.

Методы решения СЛАУ можно разделить на две большие группы – прямые и итерационные. Прямые методы позволяют найти решение системы в результате однократного применения вычислительной процедуры. В итерационных методах вычислительная процедура применяется многократно. Применение итерационных методов целесообразно в тех случаях, когда система содержит большое количество линейных уравнений.

В общем виде система линейных алгебраических уравнений записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2, \\ &\dots\dots\dots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n. \end{aligned} \tag{7.1}$$

Системы уравнений для численного решения записывают в матричном виде

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{Bmatrix}$$

или компактно:  $[A]\{x\} = \{B\}$ , где  $[A]$  – квадратная матрица размером  $n \times n$ , составленная из коэффициентов при неизвестных;  $n$  – размерность системы уравнений;  $\{x\}$  и  $\{B\}$  – матрицы размером  $n \times 1$ , содержащие неизвестные и свободные члены соответственно. Система уравнений имеет решение, если число неизвестных равно количеству уравнений, поэтому матрица коэффициентов должна быть квадратной: количество столбцов матрицы коэффициентов равно числу неизвестных, а количество строк равно количеству уравнений.

Матрицы – полезный аппарат для исследования многих задач математики, физики и техники. Одной из важнейших задач является поиск решения систем линейных алгебраических уравнений.

## 7.2. Матрицы и матричные вычисления

Многие технические задачи в приближенных расчетах сводятся к решению систем линейных уравнений в матричном виде, кроме того, при решении инженерных задач исходные и обрабатываемые табличные данные могут быть представлены для компьютерных вычислений в виде матриц  $A$  размера  $m \times n$ :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad (7.2)$$

где числа  $a_{ij}$ , составляющие данную матрицу, называются элементами матрицы; первый индекс  $i$  в обозначении элемента матрицы указывает на номер строки, второй индекс  $j$  – на номер столбца.

Матрица, у которой число строк равно числу столбцов, называется квадратной. Матрица, содержащая один столбец или одну строку, называ-

ется *вектором* (вектор-столбец или вектор-строка соответственно). Вектор-столбец и вектор-строка представляются следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{pmatrix}, \quad B = (b_1 \quad b_2 \quad \dots \quad b_n). \quad (7.3)$$

Элементы  $a_{11}, a_{22}, \dots, a_{ii}$  образуют главную диагональ матрицы. Квадратная матрица, у которой все элементы, кроме элементов главной диагонали, равны нулю, называется *диагональной*. Диагональная матрица, у которой каждый элемент главной диагонали равен единице, называется *единичной*:

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (7.4)$$

Матрица, полученная из исходной путем замены каждой ее строки на столбец с тем же номером, называется матрицей, *транспонированной* к данной и обозначается  $A^T$ . Например, если  $A = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ , то  $A^T = (1 \quad 0)$ .

При сложении матриц  $A$  и  $B$  получают матрицу  $C = A + B$ , при этом складываются их элементы с одинаковыми индексами:  $c_{ij} = a_{ij} + b_{ij}$ . Сложение проводится только для матриц одинаковых размеров.

При умножении матрицы  $A$  на число  $k$  получают матрицу  $C = kA$ , при этом каждый элемент исходной матрицы умножается на данное число:  $c_{ij} = ka_{ij}$ .

Произведением матриц  $A$  и  $B$  является матрица  $C$ , каждый элемент которой вычисляется как сумма произведений элементов  $i$ -й строки матрицы  $A$  на соответствующие элементы  $k$ -го столбца матрицы  $B$ :  $c_{ik} = a_{i1}b_{1k} + a_{i2}b_{2k} + \dots + a_{in}b_{nk}$ . Операция умножения проводится для двух матриц, когда число столбцов первой матрицы равно числу строк второй матрицы. Последовательность вычислений при умножении матриц можно представить схемой (рис. 7.1).

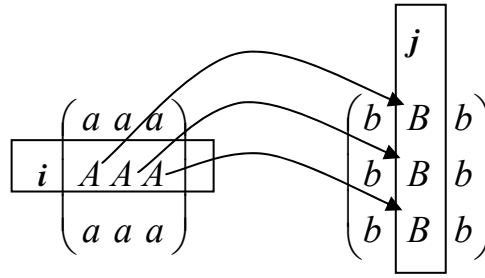


Рис. 7.1. Схема умножения матриц

Произведение двух квадратных матриц одинакового порядка не обладает в общем случае перестановочным свойством:  $AB \neq BA$ . Простой пример: если  $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  и  $B = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ , то  $AB = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  и  $BA = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ .

Матрицы, для произведения которых справедливо перестановочное свойство, называют *коммутирующими* матрицами. Следует отметить особую роль единичной матрицы  $E$ , аналогичную той роли, которую играет число 1 при перемножении вещественных чисел: при умножении произвольной квадратной матрицы на единичную получают исходную матрицу:  $AE = EA = A$ .

*Эквивалентные* матрицы – матрицы, которые могут быть получены одна из другой с помощью элементарных преобразований, а именно:

- 1) перестановкой местами двух строк матрицы;
- 2) умножением всех элементов строки на число, отличное от нуля;
- 3) сложением двух строк.

*Определитель* матрицы или ее детерминант – вещественное число, вычисляемое по элементам матрицы согласно следующим правилам.

Для квадратной матрицы второго порядка

$$\det A = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}.$$

Для квадратной матрицы третьего порядка

$$\det A = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{21}a_{32}a_{13} - a_{31}a_{22}a_{13} - a_{21}a_{12}a_{33} - a_{32}a_{23}a_{11}.$$

Определитель матрицы более высокого порядка вычисляется через определители этой матрицы низших порядков.

*Минор*  $m_{ij}$  элемента  $a_{ij}$  определителя матрицы – определитель, полученный из исходного после вычеркивания строки и столбца, на пересечении которых находится данный элемент.

Алгебраическое дополнение  $A_{ij}$  элемента  $a_{ij}$  определителя матрицы удовлетворяет условию:  $A_{ij} = (-1)^{i+j} m_{ij}$ .

Присоединенная матрица  $A^*$  имеет элементы, равные алгебраическим дополнениям  $A_{ij}$  элементов  $a_{ij}$  исходной матрицы:

$$A^* = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1n} & A_{2n} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}.$$

Обратная матрица – квадратная матрица того же порядка, произведение которой на исходную матрицу равно единичной матрице:

$$AA^{-1} = A^{-1}A = E. \quad (7.5)$$

Обратная матрица находится делением присоединенной матрицы на определитель исходной матрицы:

$$A^{-1} = \frac{A^*}{\det A}. \quad (7.6)$$

Процедура нахождения обратной матрицы используется при решении системы линейных алгебраических уравнений. Систему уравнений можно представить в матричном виде:  $[A]\{x\} = \{B\}$ , где  $\{x\}$  – искомое решение системы, записанное в виде вектора-столбца. Решение этого матричного уравнения можно свести к нахождению обратной матрицы  $[A]^{-1}$ , поскольку, умножив слева обе части уравнения на обратную матрицу  $[A]^{-1}[A]\{x\} = [A]^{-1}\{B\}$ , получаем непосредственно вектор-столбец неизвестных значений:  $\{x\} = [A]^{-1}\{B\}$ .

Вырожденная матрица – матрица, определитель которой равен нулю. Всякая невырожденная матрица имеет обратную матрицу.

### 7.3. Матрицы, обрабатываемые САЕ-программами

Программы инженерного анализа САЕ формируют и обрабатывают матрицы большой размерности, особым образом структурированные.

Разреженная матрица – матрица, большинство элементов которой равно нулю. Вводится понятие плотности матрицы – отношение числа не-

нулевых элементов к общему числу элементов матрицы. Матрица считается разреженной, если ее плотность меньше  $\frac{1}{\sqrt{N}}$ , где  $N$  – размерность матрицы. Например, если размерность матрицы  $N = 10^3$ , общее число элементов матрицы равно  $10^6$ , тогда число ненулевых элементов разреженной матрицы не превышает 31622.

Разреженные матрицы формируются при переходе к компьютерному решению различных задач с помощью программ компьютерного инженерного анализа. В процессе построения дискретных аналогов таких задач возникают большие системы линейных алгебраических уравнений, представляемые в компактной записи матричными уравнениями:

$$[A]\{x\} = \{f\}, \quad (7.7)$$

где  $\{x\}$  – вектор искомых значений некоторой физической величины (температура, смещение и т.п.) в расчетных точках дискретной модели;

$\{f\}$  – вектор нагрузок в расчетных точках дискретной модели.

Матрицы  $[A]$  в таких уравнениях, как правило, симметричны относительно главной диагонали и имеют разреженную структуру. При решении задач на прочность и жесткость конструкций матрица  $[A]$  называется глобальной матрицей жесткости системы, в тепловых задачах матрица  $[A]$  имеет смысл теплового сопротивления.

*Ленточная матрица* – разреженная матрица с ленточной структурой ненулевых элементов. Ленточные матрицы формируются при составлении глобальной матрицы жесткости и выполнении вычислительных процедур в САЕ-программе. Ленточная квадратная матрица имеет следующую структуру:

$$A = \begin{pmatrix} * & * & * & 0 \\ * & \dots & * & 0 \\ 0 & * & \dots & * \\ 0 & * & * & * \end{pmatrix}. \quad (7.8)$$

Для ленточных матриц вводят понятие ширины ленты. Для матрицы  $A$  с нулевыми элементами  $a_{ij} = 0$  при  $i > j + m_1$  или  $j > i + m_2$  величина  $m_1 + m_2 + 1$  называется шириной ленты, а величины  $m_1$  и  $m_2$  называются шириной нижней и верхней полуленты соответственно.

*Трехдиагональная матрица* – матрица, все элементы которой, кроме элементов главной и примыкающих к ней диагоналей, равны нулю. Важность трехдиагональной матрицы обусловлена тем, что некоторые методы преобразований позволяют привести произвольную матрицу к этому частному виду.

*Ортогональная матрица* – такая матрица, для которой выполняется условие:

$$A^{-1} = A^T \quad \text{или} \quad A^T A = E, \quad (7.9)$$

где  $A^T$  – транспонированная матрица,  $E$  – единичная матрица. Матрица, обратная ортогональной, эквивалентна транспонированной; определитель ортогональной матрицы равен  $\pm 1$ .

*Сингулярная матрица* – такая матрица, между строками которой (а также между столбцами) существует линейная зависимость; определитель такой матрицы равен нулю. Решение системы линейных алгебраических уравнений в САЕ-программе приводит к обработке матрицы большой размерности. Если матрица является сингулярной и ее определитель равен нулю, решаемая система уравнений является вырожденной и однозначное решение для нее отсутствует. Понятие вырожденной системы линейных уравнений означает, что фактически сама система уравнений является недостаточно определенной для решения, поскольку некоторые уравнения, входящие в такую систему, представляются линейной комбинацией других уравнений. Тогда существует либо бесконечное множество решений, либо не существует ни одного.

*Подобные матрицы* – матрицы  $A$  и  $B$  подобны, если существует такая несингулярная матрица  $P$ , что справедливо соотношение

$$B = P^{-1} A P. \quad (7.10)$$

*Симметрическая матрица* совпадает со своей транспонированной матрицей:  $A = A^T$ , т.е. нижний треугольник квадратной матрицы является «зеркальным отражением» верхнего треугольника. Разреженная ленточная симметрическая матрица может быть объектом обработки в САЕ-программах при решении некоторых задач.

*Кососимметрическая матрица* удовлетворяет условию  $A^T = -A$ , где  $A^T$  – транспонированная матрица.



Симметрическая положительно определенная матрица (в американской литературе – *Symmetric Positive Defined* или сокращенно **SPD**) формируется в САЕ-программах при решении задач прочности и жесткости конструкций. Симметрическая матрица  $A = A^T$  является положительно определенной  $A > 0$ , если для любого ненулевого вектора-столбца  $\{x\}$  выполняется условие  $\{x\}^T [A] \{x\} > 0$ . Следствием положительной определенности являются следующие свойства матрицы:

- 1) все диагональные элементы положительны:  $a_{ii} > 0$  для всех  $i$ ;
- 2) наибольший по модулю элемент расположен на главной диагонали:  $a_{ii} a_{jj} > (a_{ij})^2$  для  $i \neq j$ .

Треугольная матрица формируется при выполнении вычислительных процедур. Для нижней (*lower*) треугольной матрицы выполняется условие:  $a_{ij} = 0$  при  $i > j$ . Нижняя треугольная матрица имеет структуру:

$$L = \begin{pmatrix} * & 0 & 0 & 0 \\ * & * & 0 & 0 \\ * & * & * & 0 \\ * & * & * & * \end{pmatrix}. \quad (7.11)$$

Для верхней треугольной матрицы (*upper*) выполняется условие:  $a_{ij} = 0$  при  $i > j$ . Верхняя треугольная матрица имеет структуру:

$$U = \begin{pmatrix} * & * & * & * \\ 0 & * & * & * \\ 0 & 0 & * & * \\ 0 & 0 & 0 & * \end{pmatrix}. \quad (7.12)$$

Факторизацией матрицы называют такое преобразование, которое ведет к формированию эквивалентной треугольной матрицы. Один шаг факторизации формирует одну строку треугольной матрицы. Такое преобразование производят при решении системы алгебраических уравнений методом исключения (Гаусса), когда коэффициенты системы представлены в матричном виде.

#### **7.4. Прямые методы**

*Метод Гаусса* проводит решение системы уравнений в два этапа. Система уравнений представляется в матричном виде. На первом этапе исходная матрица, соответствующая системе уравнений, с помощью элементарных преобразований (перестановка строк, сложение строк, умножение строки на число) приводится к верхней треугольной матрице. Соответствующая обработка матрицы называется прямым ходом (сверху вниз). После таких преобразований в последней строке остаются нули и значение одной переменной.

Если в процессе приведения матрицы к треугольному виду появляются уравнения, в которых действительное число приравнивается нулю, то это свидетельствует о несовместности системы уравнений. Такая система не имеет ни одного решения.

На втором этапе, т.е. в обратном ходе (снизу вверх), подстановкой находятся последовательно все неизвестные системы уравнений. Источником ошибок в методе Гаусса является умножение строки или столбца матрицы на очень большое число или деление на очень маленькое число. При выполнении таких операций в вычислительных процедурах могут накапливаться большие ошибки, приводящие к появлению значительной погрешности расчетных результатов.

*Метод оптимального исключения* является модификацией метода Гаусса, требует меньше памяти для решения. Здесь матрица обрабатывается за один проход путем исключения уже выраженных переменных из вышестоящих уравнений.

*Метод Крамера* преобразует исходную матрицу в произведение двух треугольных матриц, что позволяет свести решение заданной системы к последовательному решению двух систем с треугольными матрицами. Для такого преобразования используются определители матриц. Вычисление определителей матриц высокого порядка осуществляется приближенно и само по себе является трудоемкой операцией, но вычислительная процедура для решения системы уравнений при этом формулируется просто.

Прямые методы имеют ряд недостатков. Как правило, они требуют хранения в оперативной памяти сразу всей матрицы, и при больших значениях  $n$  расходуется много места в памяти компьютера. Кроме того, более существенным недостатком прямых методов является накопление по-

грешностей в процессе решения, поскольку вычисления на любом этапе используют результаты предыдущих операций.

Прямые методы решения линейных систем иногда называют точными, поскольку решение выражается в виде точных формул через коэффициенты системы. Однако точное решение может быть получено лишь при точном выполнении вычислений (и, разумеется, при точных коэффициентах системы). На практике же при использовании компьютеров вычисления проводятся с погрешностями. Поэтому неизбежны погрешности и в окончательных результатах, вызванные погрешностями вычислений (например, погрешностью округления).

Во всех прямых методах накапливается неалгоритмическая вычислительная ошибка. Накопление такой ошибки в вычислениях можно контролировать с помощью так называемой контрольной суммы. Например, в методе Гаусса к каждой строке матрицы добавляют еще один элемент, который равен сумме всех элементов строки (коэффициентов соответствующего уравнения). С этим элементом производят те же операции, что и с коэффициентами уравнения. На каждом шаге проверяют равенство суммы коэффициентов и контрольной суммы: разница говорит о появлении накопившейся вычислительной погрешности. Оценивать можно относительную и абсолютную погрешность. В прямых методах ошибка в вычислениях, когда она не компенсируется случайно другими ошибками, неизбежно ведет к ошибкам в расчетных результатах.

Таким образом, прямыми методами получают решение с погрешностью, появление и нарастание которой можно контролировать. Этой погрешностью в прямых методах трудно управлять, и она может оказаться значительной при высоких порядках системы уравнений или для плохо обусловленных матриц. Плохо обусловленные матрицы характеризуются числом обусловленности. Число обусловленности основной матрицы характеризует уровень погрешности в решении системы уравнений относительно погрешности исходных данных. Если число обусловленности мало, система является хорошо обусловленной. Если число обусловленности велико, то система является плохо обусловленной. Чем меньше число обусловленности, тем меньшей будет погрешность решения относительно погрешностей входных данных.

## 7.5. Итерационные методы

Из всего многообразия приближенных методов принципиально важными при численном решении различных инженерных задач являются методы итерационные.

Метод итераций (от латинского *iteration* – повторение), строго говоря, следует назвать методом последовательных приближений. Итерационные методы дают возможность найти решение системы как предел бесконечного вычислительного процесса, позволяющего по уже найденным приближениям к решению построить следующее, более точное приближение. Отличительной особенностью итерационных методов является простота вычислительных процедур.

Важное достоинство итерационных методов состоит в том, что погрешности окончательных результатов не накапливаются, поскольку точность вычислений в каждой итерации определяется лишь результатами предыдущей итерации и практически не зависит от ранее выполненных вычислений.

В случае сходящегося итерационного процесса ошибка, полученная в некотором приближении, исправляется в последующих приближениях. Условия и скорость сходимости каждого итерационного процесса существенно зависят от свойств уравнений, т.е. от свойств матрицы системы и от выбора начальных приближений.

Метод простой итерации исходную систему уравнений  $[A]\{x\} = \{B\}$  приводит к виду  $\{x\} = [C]\{x\} + \{D\}$ , где  $\det C \neq 0$ . За начальное приближение  $\{x\}^{(0)}$  решения такой системы уравнений часто берут вектор  $\{D\}$ :

$$\{x\}^{(0)} = (x_1^{(0)} x_2^{(0)} \dots x_n^{(0)}) = \{D\} . \quad (7.13)$$

Тогда приближение на первом шаге:  $\{x\}^{(1)} = [C]\{x\}^{(0)} + \{D\}$ ; на втором шаге аналогично:  $\{x\}^{(2)} = [C]\{x\}^{(1)} + \{D\}$  или в общем виде

$$\{x\}^{(i)} = [C]\{x\}^{(i-1)} + \{D\} . \quad (7.14)$$

Метод простых итераций можно записать в виде:

$$\begin{aligned}
 x_1^{i+1} &= c_{11}x_1^i + c_{12}x_2^i + c_{13}x_3^i + \dots + c_{1n}x_n^i + d_1 \\
 x_2^{i+1} &= c_{21}x_1^i + c_{22}x_2^i + c_{23}x_3^i + \dots + c_{2n}x_n^i + d_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 x_n^{i+1} &= c_{n1}x_1^i + c_{n2}x_2^i + c_{n3}x_3^i + \dots + c_{nn}x_n^i + d_n
 \end{aligned}
 \tag{7.15}$$

*Метод Зайделя* отличается от метода простых итераций тем, что полученные на текущем шаге значения неизвестных сразу же подставляются в другие уравнения системы. Алгоритм имеет вид:

$$\begin{aligned}
 x_1^{i+1} &= c_{11}x_1^i + c_{12}x_2^i + c_{13}x_3^i + \dots + c_{1n}x_n^i + d_1 \\
 x_2^{i+1} &= c_{21}x_1^{i+1} + c_{22}x_2^i + c_{23}x_3^i + \dots + c_{2n}x_n^i + d_2 \\
 x_3^{i+1} &= c_{31}x_1^{i+1} + c_{32}x_2^{i+1} + c_{33}x_3^i + \dots + c_{3n}x_n^i + d_3 \\
 &\dots\dots\dots \\
 x_n^{i+1} &= c_{n1}x_1^i + c_{n2}x_2^i + c_{n3}x_3^i + \dots + c_{nn}x_n^i + d_n
 \end{aligned}
 \tag{7.16}$$

### **Вопросы для самоконтроля**

1. В чем разница прямых и итерационных методов решения систем линейных алгебраических уравнений?
2. В чем заключается прямой и обратный ход метода исключения Гаусса?
3. Что такое прямоугольная, квадратная, транспонированная, блочная, симметрическая, нулевая, единичная, верхняя (нижняя) треугольная, ступенчатая, трехдиагональная, вырожденная и обратная матрицы?
4. При каком условии однородная квадратная система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) имеет ненулевое решение?

## ТЕМА 8. Решение дифференциальных уравнений на сетке

*«Когда двое делают одно и то же,  
получается не одно и то же»  
Из законов Мерфи*

### 8.1. Концепция методов решения на расчетной сетке

Многие инженерные задачи приводят к решению дифференциальных уравнений с частными производными, при решении которых нас интересует распределение искомого параметра в пространстве и его изменение во времени в каждой точке исследуемой области пространства. Соответственно искомым параметром является функция четырех переменных – трех пространственных координат и времени:  $f(x, y, z, t)$ . Например, если при анализе технической системы ведется поиск температуры, то технического специалиста может интересовать пространственное распределение температуры в анализируемой системе и ее изменение во времени:  $T(x, y, z, t)$ .

Наиболее важное приложение в технике имеют дифференциальные уравнения первого и второго порядка; напомним, что порядком дифференциального уравнения называется порядок старшей производной. В случае двух независимых переменных  $x$  и  $t$  дифференциальное уравнение второго порядка с частными производными можно записать в виде

$$F\left(x, t, f, \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial t}, \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial t}\right) = 0, \quad (8.1)$$

где  $f = f(x, t)$  – искомая функция,  $F$  – заданное выражение, связывающее производные искомой функции.

Решение простейших задач для уравнений с частными производными в ряде случаев может быть проведено аналитически. Это относится к некоторым уравнениям первого порядка, а также к уравнениям второго порядка с постоянными коэффициентами. Однако в подавляющем большинстве случаев при решении научно-технических задач дифференциальные уравнения не могут быть решены аналитически. Для их решения используют приближенные методы, которые требуют выполнения огромного количества элементарных операций и осуществляются с помощью современных

компьютеров, обладающих большим объемом памяти и высокой скоростью вычислений.

Суть приближенных методов решения дифференциальных уравнений в компьютерном инжиниринге заключается в дискретизации задачи: производные в уравнении заменяют приближенными разностными отношениями. Для этого анализируемую область пространства (непрерывную) представляют дискретным множеством точек, которые образуют расчетную сетку и называются расчетными узлами. Исходное дифференциальное уравнение заменяется на сетке системой алгебраических уравнений, решая которую можно найти в узлах сетки приближенные значения искомой функции.

## 8.2. Метод конечных разностей

В сеточных методах область непрерывного изменения аргумента заменяется дискретным множеством точек, называемых узлами (расчетными узлами, расчетными точками). Множество расчетных узлов составляет разностную сетку (расчетную сетку) (рис. 8.1). Узлы сетки являются расчетными точками, в этих точках вычисляют искомые значения неизвестной переменной.

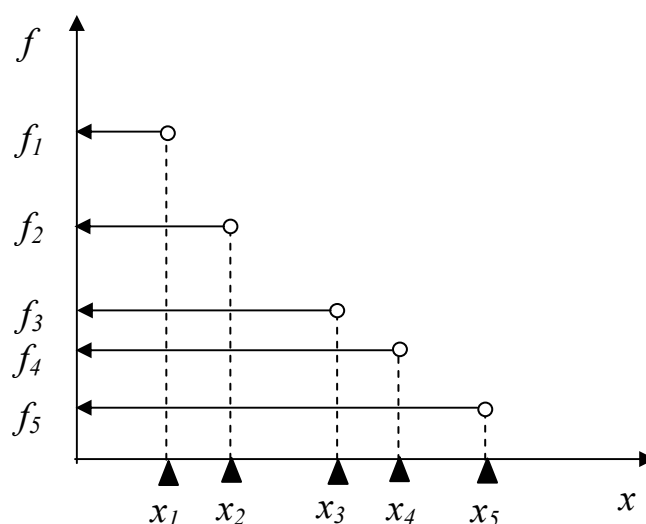


Рис. 8.1. Одномерная разностная сетка: узлы сетки расположены на числовой прямой неравномерно и представлены черными треугольниками

Искомая функция непрерывного аргумента приближенно заменяется функцией дискретного аргумента на заданной сетке. Такая функция называется сеточной.

Производные в дифференциальном уравнении заменяются конечно-разностными соотношениями:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \cong \frac{\Delta f_i}{\Delta x_i}. \quad (8.2)$$

Замена дифференциального уравнения конечно-разностным производится для всех расчетных узлов и называется аппроксимацией на сетке или разностной аппроксимацией. При этом точные значения искомой функции заменяются значениями сеточной функции в узлах разностной сетки. В итоге формируется система алгебраических уравнений, которая называется разностной схемой. Решая эту систему уравнений, можно найти в узлах сетки значения сеточной функции.

*Пример 8.1.* Пусть неизвестная величина является функцией двух переменных – времени  $t$  и пространственной координаты  $x$ . Пусть решаемое дифференциальное уравнение содержит частную производную функции первого порядка по времени и частную производную второго порядка по координате. Необходимо найти распределение неизвестной величины в пространстве и ее изменение во времени. В примере рассматривается одномерная задача, т.е. мы берем во внимание только одну пространственную ось координат. Одномерной моделью можно представить в расчете трубу, рельс, струну, стержень и т.п.

*Решение.* В такой постановке находят, например, распределение температуры по длине стержня. Зададим по оси стержня расчетные узлы – точки, в которых следует вычислить значения температуры (рис. 8.2). Расстояние  $h$  между расчетными узлами зададим, исходя из здравого смысла. Если длина стержня равна 200 мм, то расстояние между расчетными узлами можно задать равным 20 мм. Можно выбрать другое значение, но шаг сетки менее 1 мм для данного одномерного случая не имеет физического смысла. Нет необходимости задать точки с большей плотности, такая дискретность не добавляет принципиально новой информации о распределении температуры в конструкции. Заданы начальные условия, т.е. известны значения температуры в узлах в начальный момент времени. Следует вычислить, как изменяется температурное поле со временем.



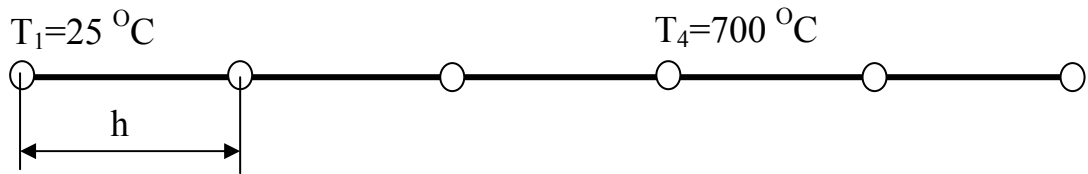


Рис. 8.2. Расчетная сетка и начальные условия

Зададим шаг по времени (рис. 8.3) равным 0.1 секунды.

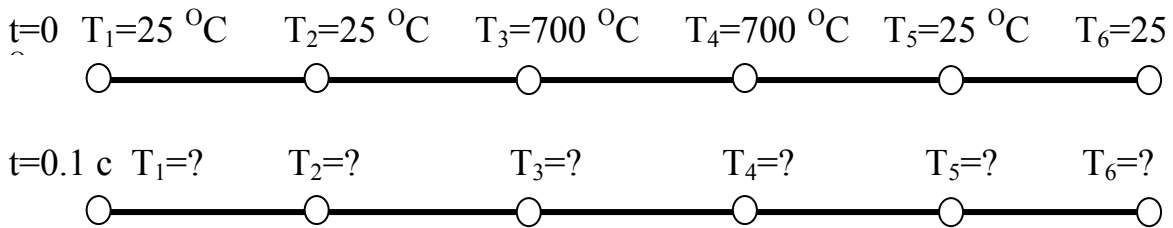


Рис. 8.3. Введение шага по времени с неизвестными значениями температуры в узлах

Изменение температуры в стержне происходит за счет явления теплопроводности. Явление теплопроводности описывается уравнением Фурье, которое содержит первую производную температуры по времени и вторую производную по координате:  $\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ . Для упрощения записи свойства материала, присутствующие в уравнение теплопроводности, сгруппированы в один коэффициент:  $a = \frac{\rho C}{\lambda}$ , где  $\rho$  – плотность,  $C$  – теплоемкость,  $\lambda$  – теплопроводность. Неизвестным параметром, относительно которого решается уравнение теплопроводности, является температура.

Построим разностную схему для уравнения теплопроводности  $\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$  в случае одномерной передачи тепла в изотропном теле. Искомый параметр – температура  $T = T(x, t)$  является функцией двух переменных – пространственной и временной.

При переходе от стержня к набору расчетных точек мы заменили аналитическую задачу дискретной. Соответственно в дифференциальном уравнении производится замена дифференциала константой:  $\partial x \approx h$ . Помимо пространственного распределения температуры нас также интересует ее изменение в заданных расчетных точках. Выберем шаг расчета по времени и заменим дифференциал константой:  $\partial t \approx \tau$ .

В итоге, если мы задали, например, 6 точек по длине стержня и 5 расчетных шагов по времени, то нам всего следует определить 30 значений температуры. Разностью значений температуры в двух соседних узлах заменяют дифференциал:  $\partial T \approx T_{i+1} - T_i$ . Как правило, минимальный набор точек и шагов по времени, отражающий расчетную сетку, группируют в шаблон сетки.

Составим шаблон разностной сетки для уравнения теплопроводности. Пусть индекс  $i$  соответствует расстоянию между расчетными узлами в пространстве, индекс  $j$  соответствует шагам во времени. В методе конечных разностей шаг сетки фиксируется, величина шага в пространстве равна  $h$ , во времени  $\tau$ . Шаблон разностной сетки представляется графически в виде схемы (рис. 8.4).

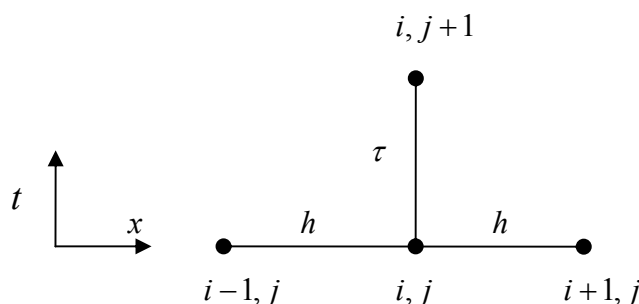


Рис. 8.4. Шаблон разностной сетки для уравнения теплопроводности

Заменяем в дифференциальном уравнении первую и вторую производные конечными разностями значений сеточной функции для точки  $i, j$ :

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\tau}; \quad (8.3)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial(\frac{\partial T}{\partial x})}{\partial x} \approx \frac{\frac{T_{i+1}^j - T_i^j}{h} - \frac{T_i^j - T_{i-1}^j}{h}}{h} = \frac{T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j}{h^2}. \quad (8.4)$$

В каждом узле расчетной сетки заменяем дифференциальное уравнение линейным алгебраическим:

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\tau} = a \frac{T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j}{h^2}. \quad (8.5)$$

□

Здесь использована явная разностная схема, такие схемы применяются для решения уравнений, в которые входят производные по времени. При

замене дифференциального уравнения алгебраическими уравнениями в узлах сетки по явной схеме одно неизвестное значение температуры на следующем шаге вычислений выражается через вычисленные температуры текущего шага. Явные схемы чувствительны к шагу по времени; шаг по времени не может быть произвольным в явных схемах.

### 8.3. Метод конечных элементов

Решим несколько задач технической механики методом конечных элементов, чтобы показать основную идею этого изящного подхода. Рассмотрим алгоритм формирования матриц в конечно-элементном анализе на простых примерах.

#### Задача 1. Однокоординатное растяжение упругой пружины

Пружина в конечно-элементной сетке моделируется одномерным упругим линейным элементом с двумя узлами. Задаваемое свойство конечного элемента – жесткость упругой пружины, разрешенное нагружение – узловые силы. Сформируем матрицу жесткости конечного элемента, моделирующего пружину (рис. 8.5) с жесткостью  $k$ . Рассматриваемый конечный элемент имеет 2 узла с номерами 1 и 2; действующие в узлах силы  $f_1$  и  $f_2$  вызывают соответствующие перемещения узлов  $u_1$  и  $u_2$ .

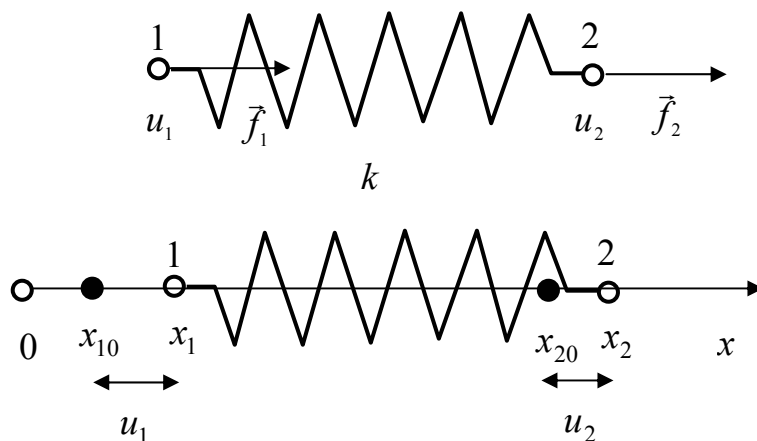


Рис. 8.5. Упругий конечный элемент

Суммарное удлинение конечного элемента, определяющее его деформацию, равно разности перемещений узлов:  $(u_2 - u_1)$ . Действительно, начальная координата первого узла  $x_{10}$ , конечная  $x_1$ ; начальная координата второго узла  $x_{20}$ , конечная  $x_2$ . Начальная длина пружины  $x_{20} - x_{10}$ , конечная длина пружины  $x_2 - x_1$ . Перемещение первого узла  $u_1 = x_1 - x_{10}$ , пере-

мещение второго узла  $u_2 = x_2 - x_{20}$ . Деформация пружины  $\varepsilon = (x_2 - x_1) - (x_{20} - x_{10}) = (x_2 - x_{20}) - (x_1 - x_{10}) = u_2 - u_1$ .

Сумма сил, приложенных к пружине, равна нулю в статической задаче. Силы, действующие в узлах упругого конечного элемента, подчиняются закону Гука, поэтому связаны с деформациями в узлах линейно через коэффициент пропорциональности, равный жесткости пружины:

$$\begin{cases} f_1 = -k(u_2 - u_1) \\ f_2 = -k(u_1 - u_2) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} ku_1 - ku_2 = f_1 \\ ku_2 - ku_1 = f_2 \end{cases} \quad (8.6)$$

или в матричном виде

$$\begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \quad (8.7)$$

или сжато в матричной форме:

$$[K] \{u\} = \{f\}, \quad (8.8)$$

где  $[K]$  – матрица жесткости элемента,  $\{u\}$  – вектор узловых перемещений,  $\{f\}$  – вектор узловых сил.

Обратите внимание на тот факт, что матрица жесткости конечного элемента является симметричной и заполнена с использованием одной величины, описывающей упругие свойства пружины. Коэффициент жесткости можно вынести в виде множителя, отделив квадратную матрицу, наполненную единицами:

$$k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix}.$$

В статической задаче сумма сил, приложенных к конструкции, равна нулю:  $f_1 + f_2 = 0$ .

Решением задачи являются значения перемещений в узлах. Зная эти перемещения, можно вычислить перемещение любой точки внутри элемента, например, с помощью линейной интерполяционной функции.

$$u = ax + b \quad u_1 = ax_1 + b \quad u_2 = ax_2 + b$$

$$u = \frac{u_2 - u_1}{x_2 - x_1} x + \frac{u_2 x_1 - u_1 x_2}{x_2 - x_1}.$$

Если поместить начало координат в первый узел и выбрать единичную длину элемента:

$$u(x) = (u_2 - u_1)x - u_1 ; u(x) = xu_2 - (x + 1)u_1 ; u(x) = \Phi_1(x)u_2 + \Phi_2(x)u_1 .$$

Это уравнение можно записать в матричной форме

$$u(x) = \{\Phi_1 \quad \Phi_2\} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} .$$

Функции  $\Phi_1(x)$  и  $\Phi_2(x)$  позволяют по известным значениям узловых перемещений вычислить перемещение любой точки внутри элемента. Эти функции являются интерполяционными и называются функциями формы. Они образуют матрицу функций формы  $\{\Phi_1 \quad \Phi_2\} \equiv \{-(x + 1) \quad x\}$ .

Расчетные узлы сетки являются интерполяционными узлами; в них функции формы принимают значения вычисленных ранее узловых перемещений.

### Задача 2. Растяжение последовательно соединенных пружин

Усложним задачу – рассмотрим систему, состоящую из двух последовательно соединенных пружин. Представим систему пружин одномерной расчетной сеткой из двух линейных упругих конечных элементов с разной жесткостью (рис. 8.6).

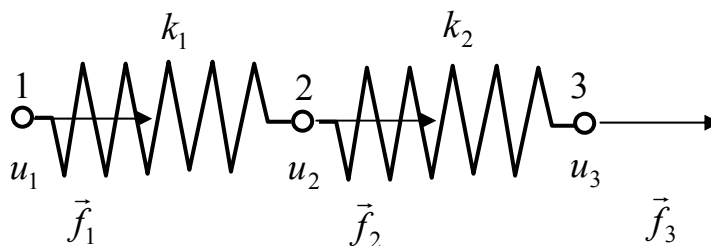


Рис. 8.6. Система из двух упругих элементов

Система уравнений равновесия для первого конечного элемента в матричном виде записывается с использованием матрицы жесткости этого элемента:

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1^1 \\ f_2^1 \end{Bmatrix} , \quad (8.9)$$

аналогично для второго конечного элемента:

$$\begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_2^2 \\ f_3^2 \end{Bmatrix} , \quad (8.10)$$

где  $k_1$  – жесткость первого элемента,

$k_2$  – жесткость второго элемента,

$u_1, u_2, u_3$  – узловые перемещения,

$f_1^1, f_2^1$  – узловые силы первого элемента,

$f_2^2, f_3^2$  – узловые силы второго элемента.

Суммарные узловые силы  $f_1 = f_1^1$ ,  $f_2 = f_2^1 + f_2^2$ ,  $f_3 = f_3^2$  связаны с узловыми перемещениями линейными зависимостями и образуют систему уравнений:

$$\begin{aligned} f_1 &= k_1 u_1 - k_1 u_2 \\ f_2 &= -k_1 u_1 + (k_1 + k_2) u_2 - k_2 u_3 \\ f_3 &= -k_2 u_2 + k_2 u_3 \end{aligned} \quad (8.11)$$

или в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix}, \quad (8.12)$$

или кратко в матричном виде:

$$[K] \{u\} = \{f\}, \quad (8.13)$$

где  $[K]$  – глобальная матрица жесткости, составленная из матриц жесткости элементов.

Для пружин с одинаковой жесткостью:

$$k \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix}$$

*Замечания по глобальной матрице жесткости*

1. Глобальная матрица жесткости является квадратной.
2. Глобальная матрица жесткости является симметричной.
3. Глобальная матрица жесткости конечно-элементной сетки составлена из матриц жесткости конечных элементов.
4. Главные диагонали матриц жесткости конечных элементов совпадают с главной диагональю глобальной матрицы жесткости.

5. На главной диагонали глобальной матрицы жесткости расположены значения жесткости узлов, равные сумме жесткостей примыкающих конечных элементов.

6. Глобальная матрица жесткости содержит нули в отличие от матриц жесткости отдельных конечных элементов.

*Замечания по узловым силам*

1. В задаче статики сумма сил, приложенных к системе, равна нулю:  $f_1 + f_2 + f_3 = 0$ .

2. Равны нулю силы в тех узлах, к которым не приложены внешние нагрузки или реакции опор:  $f_2 = 0$ .

Уточним для данной задачи граничные условия. Поскольку в задачах статики всегда вводятся ограничения степеней свободы, зададим жесткую заделку системы в первом узле, что означает нулевое перемещение узла и действие в нем силы реакции опоры. Приложим к системе внешние силы во втором и третьем узлах, равные  $F$ . Граничные условия этой задачи для одномерной конечно-элементной сетки можно записать следующим образом:  $u_1 = 0$ ,  $f_2 = f_3 = F$ . Тогда система уравнений равновесия имеет вид:

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ F \\ F \end{Bmatrix}. \quad (8.14)$$

Решением системы можно найти неизвестные параметры – силу реакции опоры  $f_1$  и перемещения узлов  $u_2$ ,  $u_3$  (решением системы из 3 уравнений можно найти 3 неизвестных параметра):

$$f_1 = -2F, \quad u_2 = \frac{2F}{k_1}, \quad u_3 = \frac{2F}{k_1} + \frac{F}{k_2}. \quad (8.15)$$

### *Задача 3. Осевое растяжение стержня*

Рассмотрим растяжение прямого стержня под действием внешней осевой силы  $F$ . Для решения такой задачи следует выбрать одномерный линейный конечный элемент типа «стержень», который позволяет производить расчет конструкции на растяжение-сжатие и кручение.

Исходной геометрической моделью для стержня является отрезок прямой линии длиной  $a$ . Переход от одномерной модели к трехмерным расчетам производится за счет реальной константы конечного элемента,

задающей площадь поперечного сечения стержня  $S$ . Решение дифференциального уравнения равновесия системы в случае упругой задачи статики требует задания константы, входящей в это уравнение – модуля нормальной упругости материала стержня (модуля Юнга)  $E$ .

Сформируем матрицу жесткости конечного элемента, моделирующего стержень (рис. 8.7). Элемент имеет 2 узла с индексами 1 и 2; действующие в узлах силы  $f_1$  и  $f_2$  вызывают соответствующие перемещения узлов  $u_1$  и  $u_2$ . Характеристиками элемента являются модуль нормальной упругости  $E$  и площадь сечения стержня  $S$ .

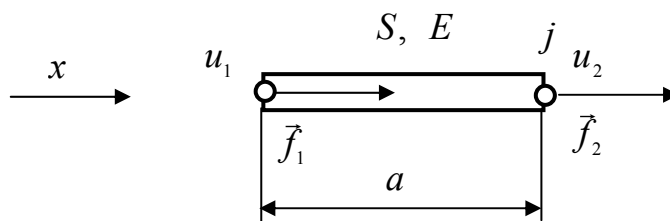


Рис. 8.7. Осевое растяжение стержня

Рассмотрим зависимость осевых перемещений  $u = u(x)$ , относительных деформаций  $\varepsilon = \varepsilon(x)$  и напряжений  $\sigma = \sigma(x)$  от координаты точки на оси стержня. В теории упругости устанавливаются известные соотношения между перемещениями, деформациями и напряжениями:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} \quad , \quad \sigma = E \cdot \varepsilon \quad . \quad (8.16)$$

Перемещение произвольной точки с координатой  $x$  внутри элемента можно выразить через узловые перемещения

$$u(x) = u_1 + \frac{x}{a}(u_2 - u_1) = \left(1 - \frac{x}{a}\right)u_1 + \frac{x}{a}u_2 \quad , \quad (8.17)$$

тогда выражения (5.16) для деформаций и напряжений преобразуются к виду:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} = \frac{u_2 - u_1}{a} \quad , \quad \sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{E}{a}(u_2 - u_1) \quad . \quad (8.18)$$

Запишем очевидное соотношение внешней осевой силы, приложенной к стержню, и перемещений в узлах:



$$F = \sigma \cdot S = \frac{E \cdot S}{a}(u_2 - u_1) = k(u_2 - u_1) , \quad (8.19)$$

где  $k = \frac{E \cdot S}{a}$  – жесткость стержня, которая, как видим, зависит от геометрических размеров (длины и площади поперечного сечения стержня) и свойств материала, из которого стержень изготовлен. Стержень, будучи изготовленным из пластика или из алюминия, будет иметь различную жесткость при одних и тех же геометрических размерах.

Матрицу жесткости элемента можно записать следующим образом:

$$[K] = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot S}{a} & -\frac{E \cdot S}{a} \\ -\frac{E \cdot S}{a} & \frac{E \cdot S}{a} \end{bmatrix} = \frac{E \cdot S}{a} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} , \quad (8.20)$$

и уравнение равновесия элемента в матричной форме имеет вид

$$\frac{E \cdot S}{a} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} . \quad (8.21)$$

Обратите внимание на матричное уравнение, которое подлежит решению в конечно-элементном анализе статически нагруженной конструкции. Это уравнение связывает линейной зависимостью узловые перемещения и узловые силы. При решении такого уравнения численными методами находят первичные параметры конструкционного анализа – узловые перемещения. Вычисление узловых перемещений не требует задания предельных характеристик конструкционного материала – предела прочности или предела текучести, эти константы не входят в решаемое уравнение.

#### *Задача 4. Осевое растяжение ступенчатого стержня*

Рассмотрим решение на конечно-элементной сетке классической задачи из курса технической механики об осевом растяжении ступенчатого стержня. В задаче ступенчатый стержень (рис. 8.8) с двумя ступенями одинаковой длины  $a$  и площадью поперечного сечения ступеней соответственно  $S_1$  и  $S_2$  жестко заделан и нагружен осевой силой  $F$ . Следует вычислить перемещения сечений 1, 2 и 3.

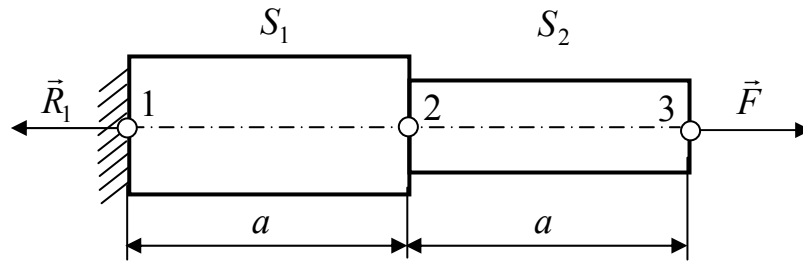


Рис. 8.8. Осевое растяжение ступенчатого стержня

Представим стержень сеткой из двух стержневых элементов (1 и 2) и трех узлов (1, 2 и 3). Перемещение сечений равно перемещениям соответствующих узлов сетки  $u_1, u_2, u_3$ . Рассмотрим элемент 1 (рис. 8.9) длиной  $a$  и поперечным сечением  $S_1$ , в узлах элемента приложены усилия  $f_1$  и  $f_2$ , которые вызывают соответствующие перемещения этих узлов  $u_1$  и  $u_2$ .

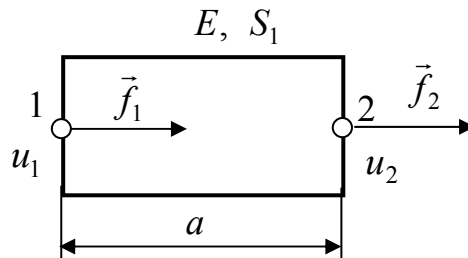


Рис. 8.9. Перемещения в конечном элементе

Запишем очевидные соотношения сил и перемещений в узлах:

$$f_1 = \frac{E \cdot S_1}{a}(u_1 - u_2) \quad , \quad f_2 = \frac{E \cdot S_1}{a}(u_2 - u_1) \quad (8.22)$$

или обобщенно в матричной форме

$$\frac{E \cdot S_1}{a} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \quad (8.23)$$

или кратко в матричной форме

$$[K]\{u\} = \{f\} \quad , \quad (8.24)$$

где  $E$  – модуль нормальной упругости (модуль Юнга) материала стержня,  
 $\frac{E \cdot S_1}{a}$  – жесткость элемента,  
 $[K]$  – матрица жесткости элемента, связывающая линейно узловые усилия и узловые перемещения.

Составим далее глобальную матрицу жесткости для всей сеточной модели из матриц жесткости отдельных элементов. При этом главные диагонали матриц жесткости элементов совпадают с главной диагональю глобальной матрицы жесткости и стыкуются в узле 2. Общую систему уравнений равновесия для сетки можно записать развернуто:

$$\frac{E}{a} \begin{bmatrix} S_1 & -S_1 & 0 \\ -S_1 & S_1 + S_2 & -S_2 \\ 0 & -S_2 & S_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ F \end{Bmatrix}, \quad (8.25)$$

где  $R_1$  – реакция опоры в узле 1,

$F$  – осевая сила, приложенная в узле 3.

Как видим, узел 2 находится во внутренней области сетки, к нему не прикладываются граничные условия, т. е. этот узел свободен от внешних нагрузок.

Учтем, что  $k_1 = \frac{E \cdot S_1}{a}$  и  $k_2 = \frac{E \cdot S_2}{a}$  – значения жесткости для первого и второго элементов соответственно, тогда глобальную матрицу жесткости можно выразить через значения жесткости элементов:

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ F \end{Bmatrix}. \quad (8.26)$$

Обратите внимание на тот факт, что конструкция выполнена из одного материала с заданным модулем нормальной упругости  $E$ , и жесткость элемента  $k$  зависит только от геометрических размеров – длины и площади сечения соответствующей ступени стержня.

Добавим граничные условия в виде нулевого перемещения в точке заделки (ограничение степеней свободы в узле):  $u_1 = 0$ :

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ F \end{Bmatrix}. \quad (8.27)$$

Решение этой системы алгебраических уравнений:

$$u_1 = 0, \quad u_2 = \frac{Fa}{ES_1}, \quad u_3 = \frac{Fa}{E} \left( \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} \right). \quad (8.28)$$

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Постройте шаблон разностной сетки и замените волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \text{ разностным.}$$

2. Каким методом можно найти значение искомого параметра в точке между узлами сетки?

## **ТЕМА 9. Оптимизация**

*«Усложнять – просто, упрощать – сложно»*

*Из законов Мерфи*

### **9.1. Концепция методов оптимизации**

Многие технические проблемы приводят инженеров к решению задач оптимального проектирования, т.е. к поиску наилучшего варианта технологии или конструкции. Такие задачи решаются с использованием различных методов оптимизации, которые основаны на поиске экстремума некоторой функции, отражающей критерий оптимальности, при условии выполнения ряда ограничений.

Оптимизация – процесс выбора наилучшего варианта технической системы из всех возможных. Оптимизация направлена на поиск тех важных параметров, от которых зависит реализация наилучшего состояния технической системы. Такие параметры называются проектными параметрами. В процессе решения задачи оптимизации необходимо найти оптимальные значения проектных параметров, определяющих наилучшее состояние технической системы. Проектными параметрами в задачах конструкционной прочности могут быть, например, линейные размеры конструкции, масса или температура. Количество искомым проектных параметров  $n$  характеризует размерность задачи оптимизации.

Выбор оптимального решения или сравнение нескольких альтернативных вариантов технической системы проводится с помощью некоторой зависимой величины, определяемой проектными параметрами. Такая величина является функцией проектных параметров и называется целевой функцией (другие названия – целевой параметр, критерий оптимальности, критерий качества).

В процессе решения задачи оптимизации должны быть найдены такие значения проектных параметров, при которых целевая функция достигает минимума (или максимума). Целевыми параметрами в задачах конструкционной прочности могут быть, например, прочность, масса, мощность, объем. Целевых функций может быть несколько. Причем целевые функции могут оказаться несовместимыми и противоположным образом влиять на проектные параметры. Например, при проектировании детали необходимо одновременно обеспечить максимальную прочность и минимальную материалоемкость. В таких случаях вводится приоритет целевых функций. В первую очередь при проектировании детали обеспечивается ее прочность, а затем берется во внимание материалоемкость.

Методы оптимизации можно классифицировать 1) по размерности решаемой задачи (одномерные и многомерные); 2) по наличию ограничений (условные и безусловные); 3) по способу формирования шага (градиентные, безградиентные, случайный поиск).

*Пример 9.1.* Требуется спроектировать закрытый сварной контейнер из металлического листа в форме прямоугольного параллелепипеда объемом  $V = 1 \text{ м}^3$  и израсходовать на его изготовление как можно меньше металла.

При постоянной толщине стенок сформулированное в техническом задании требование означает, что площадь полной поверхности контейнера  $S$  должна быть минимальной. Обозначим  $x_1, x_2, x_3$  – длины ребер контейнера. Минимизируемая площадь является функцией линейных размеров контейнера и имеет вид  $S = 2(x_1x_2 + x_2x_3 + x_1x_3)$ . Здесь  $x_1, x_2, x_3$  – проектные параметры,  $S$  – целевая функция,  $V = 1$  – ограничение равенства, которое позволяет исключить один параметр из списка искомых проектных параметров и таким образом снизить размерность задачи:

$$V = x_1x_2x_3 = 1 \quad \rightarrow \quad x_3 = \frac{1}{x_1x_2} .$$

С учетом данного ограничения задача сводится к минимизации целевой функции двух переменных:

$$S = 2\left(x_1x_2 + \frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}\right) \rightarrow \min .$$

□

## 9.2. Одномерная оптимизация

Задачу оптимизации можно сформулировать таким образом, что основной вычислительной процедурой становится поиск минимума целевой функции  $R(x)$ . В связи с этим представляют интерес численные методы поиска экстремумов целевой функции. Пусть целевая функция является функцией одного искомого проектного параметра  $R(x)$ . Подобные целевые функции формируются в задачах одномерной оптимизации.

Рассмотрим одномерные задачи оптимизации вида

$$R(x) \rightarrow \min[a \leq x \leq b], \quad (9.1)$$

где скалярный проектный параметр  $x$  задан на отрезке  $[a, b]$ .

Экстремум целевой функции можно найти построением улучшающей последовательности значений проектного параметра  $x_0, x_1, \dots, x_i, x_{i+1}$ , где  $|x_i - x_{i+1}| \leq \varepsilon$ ,  $\varepsilon$  – задаваемая погрешность решения. Поиск экстремума в этом случае ведется пошагово: на каждом шаге вычисляется следующее значение последовательности. Вычисление останавливается, когда модуль разности двух последовательно вычисленных значений проектного параметра оказывается меньше объявленной погрешности. Последнее вычисленное значение проектного параметра является решением задачи оптимизации с заданной точностью.

*Метод сканирования* заключается в последовательном переборе всех значений  $a \leq x \leq b$  с шагом, равным погрешности решения  $\varepsilon$ , или с переменным шагом, величина которого назначается путем последовательного уточнения решения. На каждом шаге вычисляется целевая функция  $R$ , затем выбирается наименьшее из всех вычисленных значений  $R$  и назначается соответствующее минимуму целевой функции решение  $x$ .

Более быстрый алгоритм поиска экстремума последовательным уточнением включает на первом этапе сканирование с крупным шагом  $\Delta_1$ . Затем отрезок, внутри которого получено наименьшее значение целевой функции, разбивается на более мелкие отрезки  $\Delta_2$  и т.д. (рис. 9.1) до тех пор, пока величина отрезка не окажется меньше заданной погрешности. Достоинство метода в том, что можно найти глобальный минимум целевой функции, когда существует несколько экстремумов.

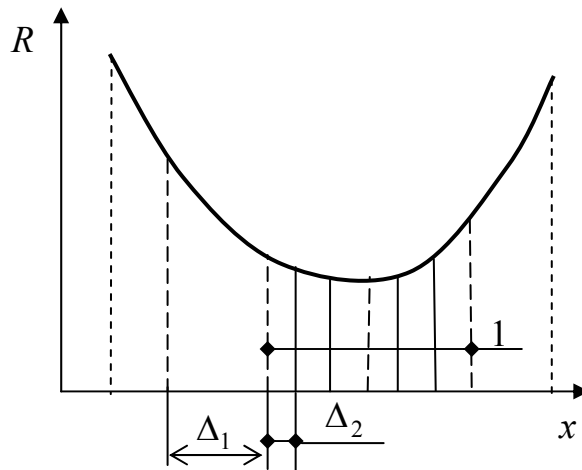


Рис. 9.1. Поиск экстремума методом сканирования

*Пример 9.2.* Требуется найти экстремум целевой функции  $R(x) = 2\sin(x + 1)$  на отрезке  $[1 \leq x \leq 2]$ . Ошибка задается по переменной  $x$ :  $\varepsilon = 0.05$ .

□

*Метод деления пополам* основан на делении текущего отрезка  $[a, b]$ , где содержится искомый экстремум, на две равные части. В качестве следующего отрезка выбирается та половина, в которой локализуется экстремум. Экстремум локализуется путем сравнения двух значений целевой функции в точках, отстоящих от середины текущего отрезка на  $\varepsilon/2$ , где  $\varepsilon$  – погрешность решения задачи оптимизации. Если  $R(x + \varepsilon/2) < R(x - \varepsilon/2)$ , то минимум располагается в правой половине текущего отрезка  $[a, b]$ , в противном случае – в левой. Процесс поиска завершается, когда величина текущего отрезка становится меньше заданной погрешности.

### 9.3. Градиентная оптимизация

При градиентной оптимизации величина шага в рекуррентном соотношении вычисляется с использованием градиента целевой функции. Направление градиента показывает направление наискорейшего убывания функции, а его модуль – скорость этого убывания.

*Метод градиента* формирует шаг  $h \cdot \text{grad } R(x)$  по переменной  $x$  как функцию от градиента целевой функции в текущей точке поиска; причем коэффициент пропорциональности  $h$  управляет эффективностью поиска; снижение  $h$  вблизи оптимального решения, например, позволяет быстрее найти решение.

Простейший алгоритм поиска минимума целевой функции записывается в векторной форме следующим образом:

$$x^{i+1} = x^i - h \text{ grad } R(x^i) \quad (9.2)$$

или в скалярном виде для целевой функции нескольких проектных параметров:

$$x_j^{i+1} = x_j^i - h \frac{\partial R}{\partial x_j^i}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (9.3)$$

Поиск каждой новой точки на пути к оптимальному решению состоит из двух этапов: 1) оценка градиента целевой функции  $R(x)$  путем вычисления ее частных производных по каждому проектному параметру  $x_j$ ; 2) осуществление рабочего шага по всем переменным одновременно.

Сравнительная иллюстрация траекторий, по которым градиентные методы находят минимум целевой функции, приведена на рис. 9.2.

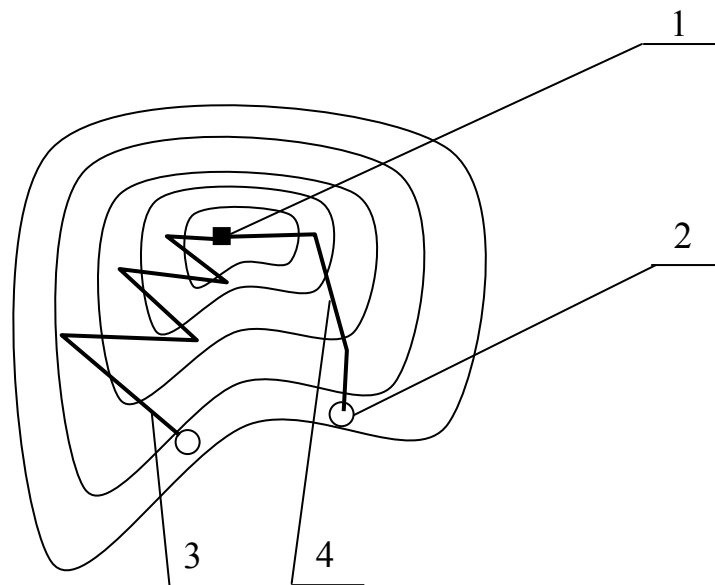


Рис. 9.2. Сравнительная иллюстрация траекторий поиска минимума двумерной целевой функции градиентными методами:

1 – оптимум, 2 – начальные точки,  
3 – метод градиента, 4 – метод сопряженных градиентов

*Метод наискорейшего спуска.* Основным недостатком градиентного метода является необходимость частого вычисления производных от целевой функции  $R(x)$ . Этому недостатка лишен метод наискорейшего спуска, где в текущей точке вычисляется  $\text{grad } R(x)$ , а затем в направлении гради-



ента вычисляется минимум целевой функции  $\min R(x)$ . Практически это может быть осуществлено любым методом одномерной оптимизации как поиск по одному направлению – направлению градиента; наиболее часто используется сканирование до первого локального минимума по направлению  $grad R(x)$ .

Вдали от оптимума эффективность метода высока, что позволяет быстро выйти в район оптимума; но в окрестности оптимума эффективность метода снижается из-за частой смены направления поиска. Метод, как и все градиентные методы, обладает невысокой эффективностью в так называемых «овражных» функциях, когда в области оптимума существует несколько локальных экстремумов. В ряде случаев можно повысить скорость выхода в район оптимума предъявлением невысоких требований к точности поиска минимума целевой функции по направлению градиента, который регулируется коэффициентом  $h$ .

*Метод сопряженных градиентов.* На начальных этапах поиска решения метод сопряженных градиентов работает так же, как метод наискорейшего спуска. В пределах шага нелинейная целевая функция заменяется линейным полиномом и производится вычисление градиента целевой функции через первые производные по координатам. Поскольку для приближения целевой функции используется в таких вычислениях полином первого порядка, градиентный метод наискорейшего спуска относят к методам первого порядка.

Метод сопряженных градиентов в область оптимума выходит так же, как метод первого порядка, а уже в окрестностях оптимума трансформируется в метод второго порядка и анализирует для текущей точки вторые производные от целевой функции.

При переходе к численному анализу вторых производных алгоритм метода сопряженных градиентов выбирает направление поиска в виде линейной комбинации векторов градиента в данной точке и предшествующего направления:

$$\begin{aligned} x^1 &= x^0 - h \operatorname{grad} R(x^0), \\ x^{i+1} &= x^i - h [\operatorname{grad} R(x^i) + \alpha \operatorname{grad} R(x^{i-1})], \end{aligned} \quad (9.4)$$

где коэффициент  $\alpha$  вычисляется как квадрат отношения длин векторов градиентов на текущем шаге и на предыдущем шаге:

$$\alpha = \frac{|\text{grad } R(x^i)|^2}{|\text{grad } R(x^{i-1})|^2} . \quad (9.5)$$

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Экстремум каких целевых функций  $R(x)$  можно найти методом сканирования?
2. Как повысить точность поиска оптимального решения?
3. Что называется градиентом целевой функции  $R(x)$ ?
4. Найти оптимальные размеры контейнера в примере 9.1.

## **ТЕМА 10. Собственные значения и векторы**

*«Оставшиеся гайки никогда  
не подходят к оставшимся болтам»  
Из законов Мерфи*

### **10.1. Понятие собственных значений**

Применение компьютерных систем инженерного анализа к расчету конструкций и механических систем предполагает численное решение задач механики, в ходе которого возникает необходимость решать большие системы алгебраических уравнений. Некоторые задачи механики в такой постановке требуют нахождения собственных или характеристических значений системы.

С задачами на определение собственных значений и собственных векторов инженер сталкивается при проектировании различных систем и сооружений. Так, при анализе напряженного состояния конструкции для тензоров напряжений собственные значения определяют главные нормальные напряжения, а собственными векторами задаются направления, связанные с тройкой значений главных напряжений.

При динамическом анализе механических систем, например, при модальном анализе вибраций собственные значения соответствуют собственным частотам колебаний, а собственные векторы характеризуют соответствующие деформации конструкции, соответствующую каждой собственной частоте колебаний. При расчете конструкций на устойчивость собственные

значения позволяют определять критические нагрузки, превышение которых приводит к потере устойчивости.

В общем виде задача на собственные значения квадратной матрицы формулируется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} x_1^0 \\ x_2^0 \\ \dots \\ x_n^0 \end{Bmatrix} \quad (10.1)$$

или кратко:  $[A] \cdot \{x\} = [\lambda] \cdot \{x^0\}$

где  $A$  – квадратная матрица размерности  $n \times n$ .

Квадратная матрица  $A$  размерности  $n \times n$  имеет  $n$  собственных значений  $\lambda_i$ ; набор всех ее собственных значений называется спектром матрицы. Нумерацию собственных значений производят по возрастанию модуля:

$$|\lambda_1| \leq |\lambda_2| \leq \dots \leq |\lambda_{n-1}| \leq |\lambda_n|. \quad (10.2)$$

Каждому собственному значению  $\lambda_i$  соответствует собственный вектор  $x_i$ . В общем случае требуется найти  $n$  собственных скалярных значений  $\lambda$  и собственные векторы  $x^0$ , соответствующие каждому из собственных значений.

Собственные векторы  $x_i^0$  образуют систему ортонормированных векторов:

$$\{x_i^0\} \cdot \{x_k^0\} = \begin{cases} 1, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases}. \quad (10.3)$$

Привлечение компьютерных методов к расчетному обоснованию проектируемых инженерных систем сводит решение исходного дифференциального уравнения, описывающего физические процессы в системе, к обработке квадратной матрицы большой размерности. Соответственно, рассматривая компьютерные методы решения инженерных задач, следует обсудить методы поиска собственных значений и векторов квадратной матрицы.

## 10.2. Концепция поиска собственных значений

Алгоритмы решения задач на собственные значения квадратной матрицы можно разделить на две группы. 1) Существуют итерационные методы, которые удобны и хорошо приспособлены для определения наименьшего и наибольшего собственных значений. 2) Существуют также методы преобразований подобия, которые сложнее, но зато позволяют определить все собственные значения и собственные векторы матрицы.

Наиболее очевидным способом решения задачи на собственные значения является их определение из системы уравнений:

$$([A] - [\lambda] \cdot [E]) \cdot \{x\} = 0, \quad (10.4)$$

которая имеет ненулевое решение лишь в случае, если  $\det(A - \lambda E) = 0$ .

Уравнение  $\det(A - \lambda E) = 0$  является алгебраическим уравнением, его называют характеристическим уравнением. Например, для квадратной матрицы второго порядка характеристическое уравнение имеет вид

$$\det([A] - \lambda \cdot [E]) = \det \begin{bmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda \end{bmatrix} = (a_{11} - \lambda)(a_{22} - \lambda) - a_{12}a_{21} = 0.$$

Раскрыв определитель, получим многочлен  $n$ -й степени относительно  $\lambda$ , корни которого и будут собственными значениями матрицы. Итак, собственные значения квадратной матрицы  $A$  определяются как корни характеристического полинома  $\det(A - \lambda E)$ . Для определения корней можно воспользоваться любым из известных численных методов.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какая матрица называется квадратной?
2. Что будет результатом умножения квадратной матрицы на единичную?
3. Как вычисляют определитель матрицы?

## ТЕМА 11. Параллельные вычислительные технологии

*«Лишь в конце работы мы обычно понимаем,  
с чего ее нужно было начинать»*

*Из законов Мерфи*

Рассматривая параллельные вычислительные технологии, следует разделить понятия «параллельные вычислительные системы» и «параллельные численные методы».

### **11.1. Параллельные вычислительные системы**

Характерной особенностью современных вычислительных систем является возможность одновременного или, как говорят, параллельного использования большого числа процессоров для обработки информации. Для таких систем собирательным стало название «параллельные вычислительные системы». Необходимость эффективного их применения требует радикального изменения структуры численных методов. Разнообразие архитектур вычислительных систем порождает разнообразие способов организации вычислений, что вызывает различие в организации данных, численных методов и алгоритмов, а также вариативность средств и языков общения с вычислительной техникой. Для больших параллельных систем разрабатываются специальные численные методы и пишутся прикладные программы с учетом архитектуры таких систем.

Проблема согласования программных средств и структуры вычислительной техники появилась в связи с возможностью выполнения вычислений на многопроцессорных комплексах, поскольку традиционные алгоритмические языки достаточно хорошо согласованы с классическими однопроцессорными машинами. Внешнее совпадение операций алгоритмических языков с математическими операциями создает устойчивую иллюзию совпадения их свойств и скрывает от пользователя большинство проблем реализации алгоритмов на конкретных вычислительных устройствах. Однако традиционное машинно-независимое программное обеспечение оказывается неэффективным в случае параллельных вычислительных систем. Для этих систем становится актуальной проблема согласованности алгоритмов и алгоритмических языков со структурой вычислительной системы. Эффективной реализации алгоритма могут помешать, например, особенности коммуникационной сети, связывающей процессоры между собой и с

ячейками памяти. Ограниченные возможности быстрых связей коммуникационной сети могут быть не согласованными со структурой связей в алгоритме.

Вычислительная система представляет совокупность связанных между собой устройств. В каждый момент времени эти устройства либо простаивают, либо выполняют полезную работу, т.е. заняты хранением, пересылкой или переработкой информации. Системы различаются как составом устройств, так и видом связей. Связи могут быть постоянными или изменяемыми.

Основные структурные элементы вычислительной системы можно ввести и описать на примере однопроцессорной машины (рис. 11.1).

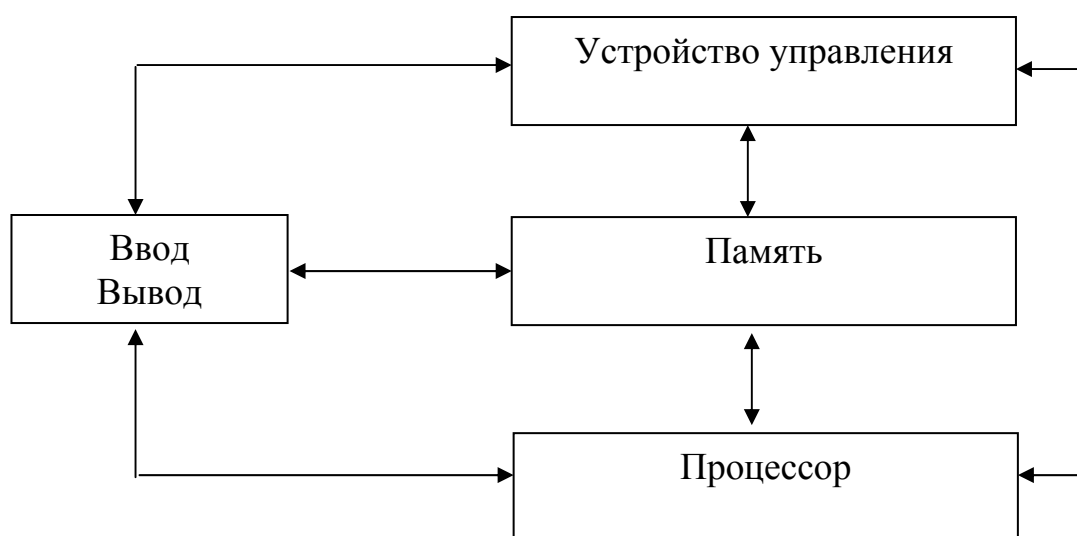


Рис. 11.1. Структура однопроцессорной машины

В однопроцессорной машине имеется два основных устройства. Одно из них называется процессором (центральный процессор, решающее устройство, арифметико-логическое устройство) и предназначено для выполнения над операндами некоторого ограниченного набора операций. В набор операций входят операции сложения, вычитания, умножения и деления чисел, логические операции над отдельными разрядами и их последовательностями, операции над символами и др. Другое устройство, называемое памятью (запоминающее устройство), предназначено для хранения всей информации, необходимой для организации работы процессора. Процессор является активным устройством, т.е. он имеет возможность преобразовывать информацию. Память является пассивным устройством, т.е. она не имеет такой возможности. Процессор и память связаны между собой каналами обмена информацией.

Работа однопроцессорной машины заключается в последовательном выполнении отдельных команд. Каждая команда содержит информацию о том, какая операция из заданного набора должна быть выполнена, а также из каких ячеек памяти должны быть взяты аргументы операции и в какие ячейки помещен результат. Описание упорядоченной последовательности команд в виде программы находится в памяти. Там же размещаются необходимые для реализации алгоритма начальные данные и результаты промежуточных вычислений. Координирует работу всех узлов машины устройство управления. Оно организует последовательную выборку команд из памяти и их расшифровку, передачу из памяти в процессор операндов, а из процессора в память результатов выполнения команд, управляет работой процессора. Ввод начальных данных и выдачу результатов осуществляет устройство ввода-вывода.

Процессор является единственным устройством, которое выполняет полезную с точки зрения реализации алгоритма работу. Все остальные устройства по отношению к нему оказываются обслуживающими, и их работа направлена только на то, чтобы обеспечить наиболее эффективный режим функционирования процессора. В основе архитектуры описанной машины лежит принцип последовательного выполнения отдельных команд. Организованные таким образом машины называют последовательными.

Повысить быстродействие при решении больших задач можно, объединив несколько процессоров и несколько устройств памяти в единую вычислительную систему с помощью каналов передачи информации. Коммуникационная сеть каналов связи между устройствами лимитирует быстродействие такой системы, поскольку скорость обработки информации процессорами существенно превышает скорость передачи данных между устройствами. Причем с ростом миниатюризации элементной базы и устройств вычислительной техники проблема построения коммуникационных сетей не только не снимается, но становится еще более сложной и актуальной. Прямая связь каждого устройства со всеми остальными приводит к резкому усложнению сети с ростом числа устройств. Каждый процессор параллельной системы может иметь свою собственную память, и тогда память системы называется распределенной. Для распределенной памяти характерно наличие большого числа быстрых каналов, связывающих отдельные ее части с отдельными процессорами. Обмен информацией между частями распределенной памяти обычно осуществляется довольно медленно.

Если процессоры общаются с памятью через общие каналы связи, то в этом случае память называется общей. Для параллельных систем с общей памятью одним из узких мест, затрудняющих достижение максимального быстродействия, являются каналы связи с памятью. Одна и та же вычислительная система может иметь как общую, так и распределенную память.

Стремление эффективно решать задачи на многопроцессорных системах должно обязательно сопровождаться согласованием структуры численных методов и архитектуры вычислительных систем. Сопряжение вычислительных систем и численных методов порождает два класса проблем – обеспечение быстрой коммуникации и полная загрузка процессоров. наращивание мощности вычислительных систем с многими процессорами и распределенной памятью в какой-то момент приводит к тому, что возможности коммуникационной сети в обеспечении быстрой передачи данных достигают предела и начинают ограничивать быстродействие системы в целом. Причина заключается в том, что стремление увеличить быстродействие за счет использования большого числа процессоров может быть несовместимым в условиях применения конкретного численного метода с возможностями коммуникационной сети. В итоге любая вычислительная система с большим количеством процессоров будет эффективной только на определенном классе алгоритмов и методов.

Не только ограничения коммуникационной сети сдерживают рост производительности вычислительной системы. Требуется также постоянная загрузка всех процессоров выполнением полезной работы. Но алгоритм решения задачи в силу причин, вызванных его собственной структурой, может просто не обладать возможностью обеспечить постоянную загрузку большого числа процессоров независимо от устройства коммуникационной сети. Имеется много численных методов, которые нельзя эффективно реализовать ни на каких многопроцессорных системах.

Классификация параллельных вычислительных систем учитывает следующие признаки: тип потока данных, тип потока команд, способ обработки данных, тип строения памяти, тип коммуникационной сети, степень однородности компонент системы, степень согласованности режимов работы устройств. Широко известно деление систем по двум признакам: тип потока команд между устройствами памяти и устройствами управления или процессорами и тип потока данных между процессорами и устройствами памяти. Поток команд может быть одиночным (*Single Instruction*) или



множественным (*Multiple Instruction*). В одиночном потоке в один момент времени может выполняться только одна команда, и эта единственная команда определяет работу многих устройств в данный момент. В множественном потоке в один момент времени может выполняться много команд, и каждая команда определяет работу только одного устройства в данный момент. В одиночном потоке последовательно выполняются отдельные команды, в множественном потоке – группы команд.

В свою очередь, одиночный поток данных (*Single Data*) предполагает использование только одного устройства памяти и одного процессора. При этом используемый процессор может быть простым или очень сложным, так что процесс обработки единицы информации потока будет требовать выполнения многих команд. Множественный поток данных (*Multiple Data*) состоит из многих одиночных потоков, полностью независимых или связанных использованием общей памяти или общего процессора.

В соответствии с данной классификацией все параллельные системы делятся на четыре класса: **SISD**, **SIMD**, **MISD**, **MIMD**. Однопроцессорная машина классической структуры является типичным представителем класса SISD. К классу MISD можно отнести систему, имеющую сложный процессор с выполнением отдельных операций (сложение, умножение, сдвиг, логическое умножение и т.п.) специализированными устройствами последовательно по конвейерному типу. При работе конвейера положительный эффект достигается за счет выполнения большого числа независимых операций: для того чтобы начать выполнение следующей операции, не нужно ждать окончания всего процесса выполнения предыдущей операции; достаточно, чтобы у предыдущей операции был закончен только первый этап. Реализация конвейера позволяет максимально загрузить процессоры выполнением полезной работы. Однако за достижение этого эффекта приходится платить необходимостью организовывать данные особым образом, объединяя в отдельные потоки независимые однотипные данные. Обратите внимание, что и в данном случае эффективность процесса реализации задачи решающим образом зависит от степени согласованности структуры численных методов и особенностей архитектуры вычислительных систем.

Системы класса SIMD и MIMD всегда имеют много процессоров, работающих параллельно. В системах MIMD процессоры, как правило, универсальные, имеют собственную память и редко обмениваются информацией между собой. Коммуникационная сеть таких систем обеспечивает бы-

стрые передачи информации только между процессорами и их собственной памятью; остальные обмены осуществляются значительно медленнее. В системах SIMD процессоры могут быть как универсальными, так и специализированными. Обычно они имеют небольшую собственную память или не имеют ее совсем. Коммуникационная сеть системы SIMD обеспечивает быстрые передачи информации как между процессорами и их собственной памятью, так и между некоторыми из процессоров.

## **11.2. Параллельные алгоритмы**

Как бы ни были устроены параллельные вычислительные системы, все они обладают одной общей особенностью: в каждый момент времени преобразование информации может осуществляться одновременно на многих функциональных устройствах, причем на каждом устройстве информация в данный момент времени преобразуется независимо от остальных. Соответственно, алгоритм, реализуемый на параллельной системе, представляется в виде последовательности групп операций. Все операции одной группы должны быть независимыми и обладать возможностью быть выполненными одновременно на имеющихся в системе функциональных устройствах.

Пусть операции алгоритма разбиты на группы, упорядоченные так, что каждая операция любой группы зависит либо от начальных данных алгоритма, либо от результатов выполнения операций, находящихся в предыдущих группах. Представление алгоритма в подобном виде называется параллельной формой алгоритма. Каждая группа операций называется ярусом параллельной формы, число групп – высотой параллельной формы, максимальное число операций в ярусе – шириной параллельной формы.

Если известна параллельная форма алгоритма, то сам алгоритм можно реализовать на параллельной вычислительной системе по шагам последовательно ярус за ярусом. Если состав функциональных устройств системы таков, что параллельно могут выполняться все операции любого яруса, то при подходящим образом организованной коммуникационной сети алгоритм может быть реализован на параллельной системе за время, пропорциональное высоте параллельной формы.

Разрабатываемый алгоритм может иметь много параллельных форм, различающихся высотой и шириной. Но среди всех параллельных форм для данного алгоритма имеется одна форма минимальной высоты. Такая па-

параллельная форма с минимальной высотой называется максимальной, а ее высота определяет высоту алгоритма. Максимальная параллельная форма алгоритма представляет наибольший интерес, поскольку она определяет минимальное время реализации алгоритма на параллельной вычислительной системе.

*Пример 11.1.* Составить параллельные формы для алгоритма вычислений согласно алгебраическому выражению  $(a_1a_2 + a_3a_4)(a_5a_6 + a_7a_8)$ .

*Решение.* Для данного алгоритма вычислений можно составить следующую параллельную форму.

*Вариант 1*

Данные  $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8$

Ярус 1  $a_1a_2 a_3a_4 a_5a_6 a_7a_8$

Ярус 2  $a_1a_2 + a_3a_4 a_5a_6 + a_7a_8$

Ярус 3  $(a_1a_2 + a_3a_4)(a_5a_6 + a_7a_8)$

Высота составленной параллельной формы равна трем, ширина – четырем. Она может быть реализована на параллельной системе, имеющей четыре процессора, способных выполнить операции умножения и сложения. Сначала выполняются четыре операции умножения, соответствующие ярусам 1, затем две операции сложения, соответствующие ярусам 2, и, наконец, одна операция умножения, соответствующая ярусам 3. Причем в рассмотренной форме все четыре процессора задействованы только на первом ярусе, затем работают два процессора и на третьем ярусе лишь один процессор загружен полезной работой, а все остальные простаивают.

Можно составить для данного алгоритма и другие параллельные формы, в которых высота будет больше, но при этом используемые процессоры загружены более интенсивно. Ниже приведены еще два варианта параллельной формы с высотой, равной четырем и пяти соответственно.

*Вариант 2*

Данные  $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8$

Ярус 1  $a_1a_2 a_3a_4$

Ярус 2  $a_5a_6 a_7a_8$

Ярус 3  $a_1a_2 + a_3a_4 a_5a_6 + a_7a_8$

$$\text{Ярус 4} \quad (a_1 a_2 + a_3 a_4)(a_5 a_6 + a_7 a_8)$$

*Вариант 3*

$$\text{Данные} \quad a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8$$

$$\text{Ярус 1} \quad a_1 a_2 \ a_3 a_4$$

$$\text{Ярус 2} \quad a_1 a_2 + a_3 a_4 \ a_5 a_6$$

$$\text{Ярус 3} \quad a_7 a_8$$

$$\text{Ярус 4} \quad a_5 a_6 + a_7 a_8$$

$$\text{Ярус 5} \quad (a_1 a_2 + a_3 a_4)(a_5 a_6 + a_7 a_8)$$

Ширина параллельных форм во втором и третьем вариантах равна двум. Обе эти параллельные формы могут быть реализованы на параллельной системе с двумя процессорами. Второй вариант является более удачным в плане загрузки процессоров, здесь все процессоры работают на всех ярусах, кроме последнего. В третьем варианте на третьем, четвертом и пятом ярусах один из двух задействованных процессоров простаивает.

□

Рассмотренный пример показывает некоторые проблемы, с которыми приходится сталкиваться при реализации алгоритмов на параллельных вычислительных системах. Одной из них является проблема загруженности процессоров.

Не менее важной проблемой реализации параллельных алгоритмов являются конфликты в памяти, когда несколько процессоров выбирают из памяти одну и ту же информацию. Конфликты в памяти можно ликвидировать за счет увеличения высоты, устанавливая фактически для процессоров очередность получения информации.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### **Работа 1. Организация вычислений в среде MathCAD**

*Назначение программы MathCAD.* Программа включает вычислительный процессор для проведения расчетов согласно введенным формулам, символьный процессор и текстовый редактор для ввода и редактирования формул и текста. Интеграция этих компонентов создает удобную вычислительную среду для разнообразных математических расчетов и документирования результатов работы.

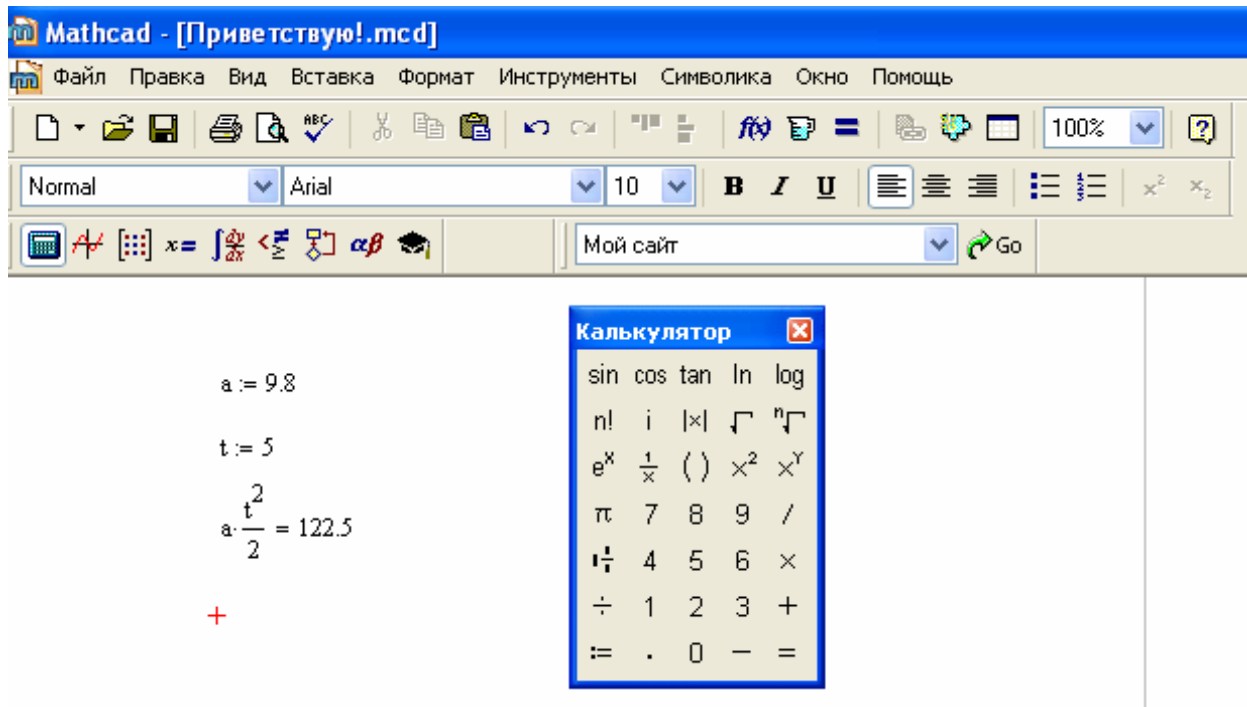
В среде MathCAD можно выполнить следующие работы:

- ввод на компьютере математических выражений для дальнейших расчетов или создания документов, презентаций, Web-страниц;
- проведение математических расчетов;
- подготовка графиков по результатам расчетов;
- ввод исходных данных и вывод результатов в текстовые файлы или файлы с базами данных в различных форматах;
- подготовка отчетов работы в виде печатных документов;
- подготовка Web-страниц и публикация результатов в Интернете;
- получение различной справочной информации из области математики.

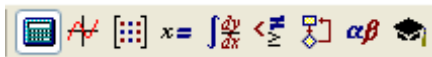
*Интерфейс программы MathCAD.* После того как программа запущена на исполнение, появляется основное окно приложения. Оно имеет ту же структуру, что и большинство приложений Windows. Сверху вниз располагаются заголовок окна, строка меню, панели инструментов (стандартная и форматирования) и рабочая область документа (worksheet). Новый документ создается автоматически при запуске MathCAD. В самой нижней части окна находится строка состояния. Не забывая о сходстве редактора MathCAD с обычными текстовыми редакторами, вы интуитивно поймете назначение большинства кнопок на панелях инструментов.

Панели инструментов служат для быстрого (в один щелчок мыши) выполнения наиболее часто применяемых команд. Все действия, которые можно выполнить с помощью панелей инструментов, доступны и через верхнее меню. Наибольший интерес представляет панель математических инструментов «Математика». Панель Math (Математика) предназначена для вызова на экран девяти служебных панелей, с помощью которых соб-

ственно и происходит вставка математических действий и операций в документы.

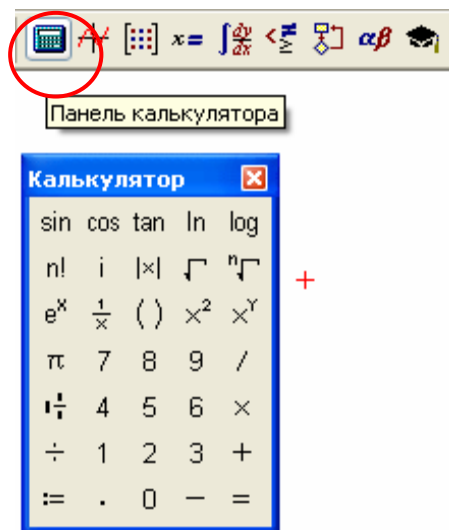


Панель инструментов «Математика» – основная панель программы, которая содержит несколько наборов инструментов, сгруппированных по выполняемым функциям и оформленных в виде всплывающих панелей:

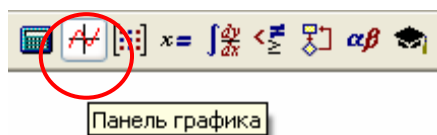


Перечислим назначение математических панелей.

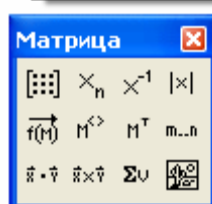
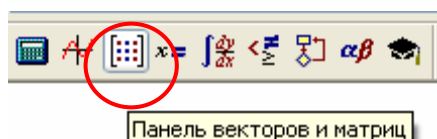
Панель калькулятора – калькулятор, производит арифметические действия и простые вычисления



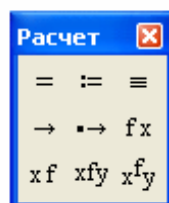
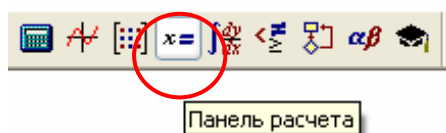
Панель графика – выбор типа графика



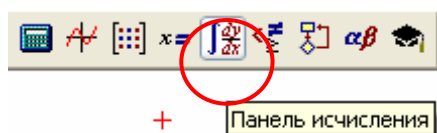
Панель векторов и матриц – действия с матрицами



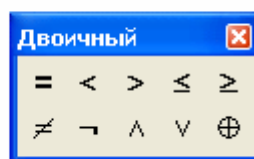
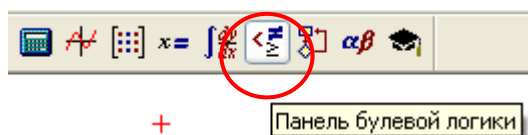
Панель расчетов – выполняемые действия и операторы



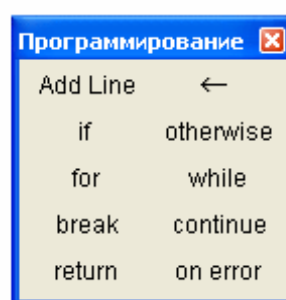
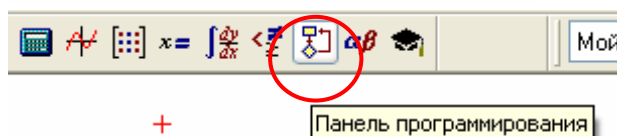
Панель исчисления – дифференцирование, интегрирование



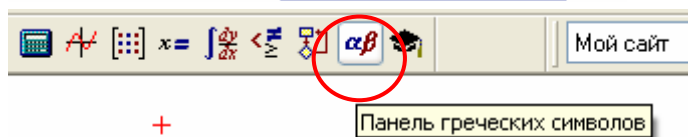
Панель булевой алгебры – булевы операции



Панель программирования – команды для составления программ

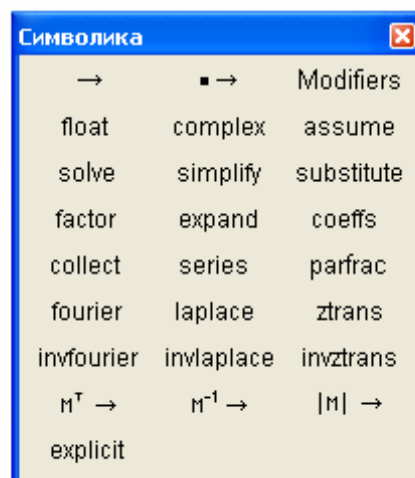
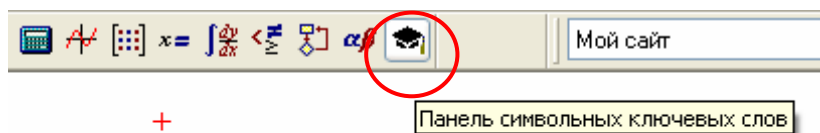


Панель греческих символов – заглавные и прописные символы греческого алфавита





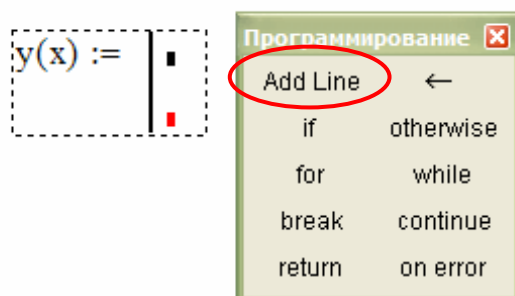
Панель символьных ключевых слов – команды, осуществляющие расчет и преобразование



*Программирование в программе MathCAD.*

**Составление программы Add Line**

Оператор добавляет строчку в программу.



**Оператор присваивания ←**

Оператор присваивает значение.

$$y(x) := a \leftarrow 3.2$$

ВСЕГДА (!!!) проверяйте текущий результат вычислений:

$$y(1.6) = 3.2$$

$$y(2168900) = 3.2$$

Заполним строки программы:

$$y(x) := \begin{cases} a \leftarrow 3.2 \\ b \leftarrow x + a \end{cases}$$

Проверим результат вычислений:

$$y(1.6) = 4.8$$

### Оператор условный **if**

Оператор задает условный переход:

$$y(x) := \begin{cases} a \leftarrow 3.2 \\ b \leftarrow x + a \text{ if } x > 2 \end{cases}$$

Проверим результат вычислений:

$$y(1) = 3.2 \quad y(3) = 6.2$$

### Оператор условный **otherwise**

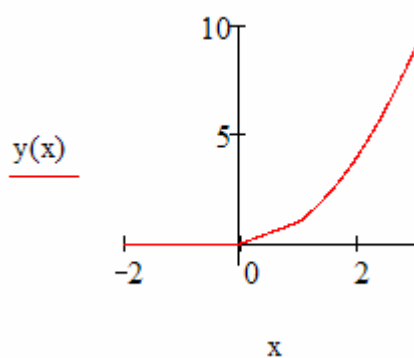
Оператор задает в программе переход для тех условий, которые не объявлены оператором *if*:

$$y(x) := \begin{cases} x^2 & \text{if } x \geq 1 \\ x & \text{if } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверим результат вычислений:

$$y(-5) = 0 \quad y(0) = 0 \quad y(0.5) = 0.5 \quad y(1) = 1 \quad y(3) = 9$$

График заданной функции:



### Оператор цикла **while**

Оператор формирует цикл, выбирает нужный индекс и производит вычисление по выбранному индексу.

Поставим задачу так, что нужно найти первое значение, превышающее 3 для выражения:

$$i := 0..1000 \quad w_i := \sqrt[5]{i+1}$$

Зададим критерий:

$$R := 3$$

Создадим программу:

```
ww := | i ← 14
 | while wi ≤ R
 | i ← i + 1
 | (i)
 | (wi)
```

Проверим результат вычислений:

$$ww = \begin{pmatrix} 243 \\ 3.002 \end{pmatrix}$$

### Оператор цикла **for**

Оператор формирует цикл, листает индекс и проводит вычисления на каждом шаге.

Вычислим значения табличной функции:

```
y := | i ← 1
 | for x ∈ 1, 1.1 .. 2
 | | YYYi ← sin(x2)
 | | i ← i + 1
 | | YYY
```

Результат вычислений:

|    |        |
|----|--------|
|    | 0      |
| 0  | 0      |
| 1  | 0.841  |
| 2  | 0.936  |
| 3  | 0.991  |
| 4  | 0.993  |
| 5  | 0.925  |
| 6  | 0.778  |
| 7  | 0.549  |
| 8  | 0.249  |
| 9  | -0.098 |
| 10 | -0.451 |
| 11 | -0.757 |

y =

## Работа 2. Аппроксимация

*Задача.* Получена экспериментальная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводнике от величины поверхностного сопротивления для электронного типа проводимости. Оценить концентрацию носителей заряда при поверхностном сопротивлении 0,0009 Ом\*см.

|                     |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| P, Ом*см            | 0,003                 | 0,005                 | 0,01                  | 0,02                  | 0,03                  | 0,04                  |
| N, см <sup>-1</sup> | 2,41*10 <sup>19</sup> | 1,27*10 <sup>19</sup> | 4,76*10 <sup>18</sup> | 1,51*10 <sup>18</sup> | 7,22*10 <sup>17</sup> | 4,25*10 <sup>17</sup> |

|                     |                       |                       |                       |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| P, Ом*см            | 0,05                  | 0,06                  | 0,07                  |
| N, см <sup>-1</sup> | 2,85*10 <sup>17</sup> | 2,08*10 <sup>17</sup> | 1,61*10 <sup>17</sup> |

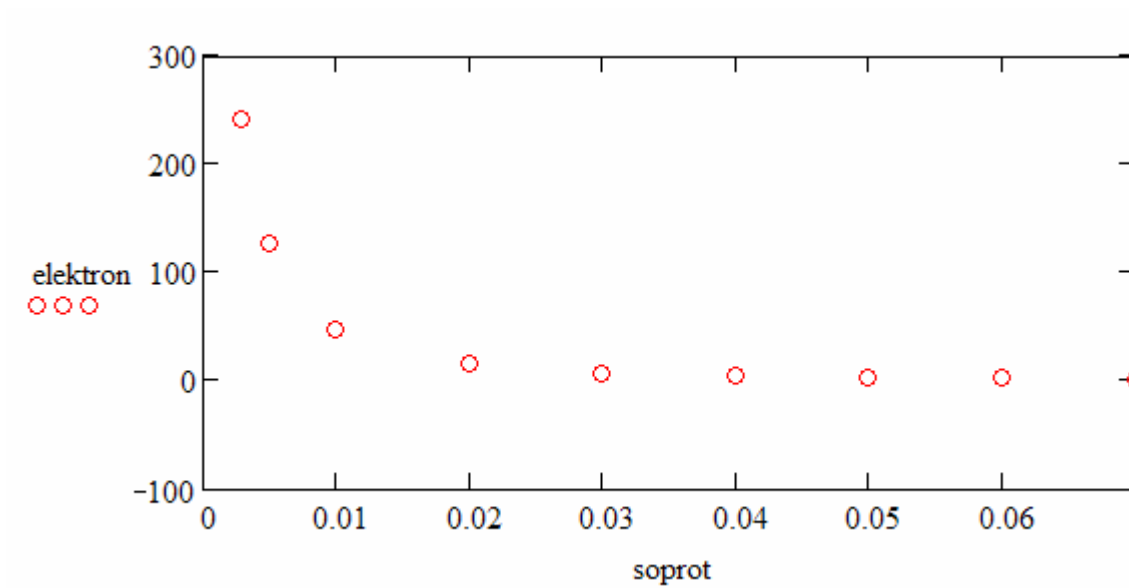
*Решение.*

Запишем исходные данные в виде матриц (векторов):

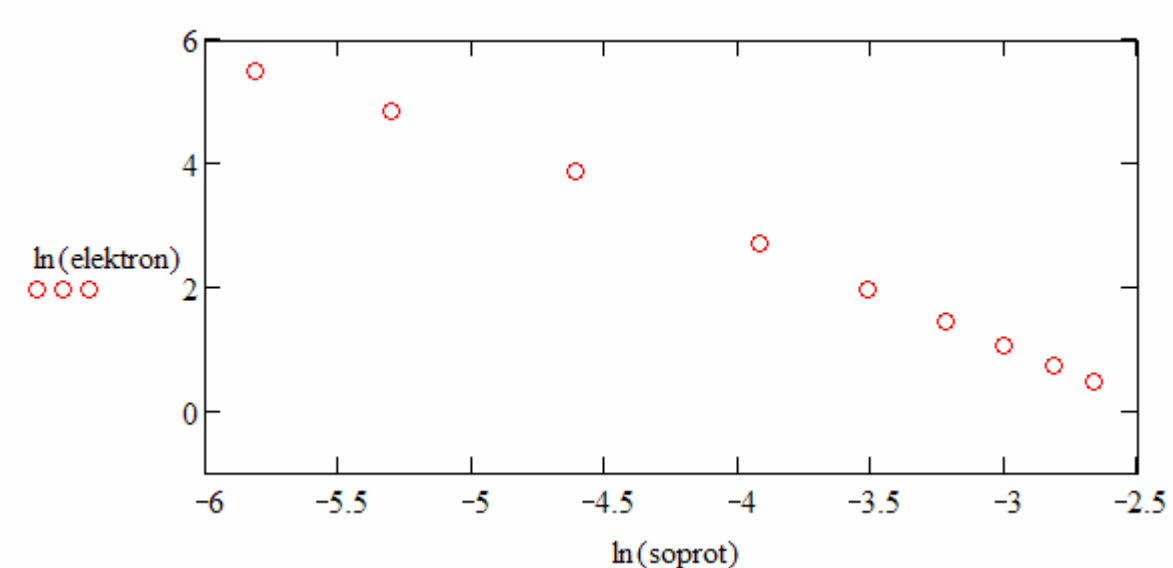
$$\text{soprot} := \begin{pmatrix} 0.003 \\ 0.005 \\ 0.01 \\ 0.02 \\ 0.03 \\ 0.04 \\ 0.05 \\ 0.06 \\ 0.07 \end{pmatrix} \quad \text{elektron} := \begin{pmatrix} 241 \\ 127 \\ 47.6 \\ 15.1 \\ 7.22 \\ 4.25 \\ 2.85 \\ 2.08 \\ 1.61 \end{pmatrix}$$

В представлении данных к расчету проигнорирован порядок значений концентрации, такой подход повышает точность компьютерных вычислений.

Построим график исходной таблично заданной функции:



Поскольку функция имеет структуру экспоненты, перестроим ее график в логарифмических координатах:



В логарифмических координатах экспоненциальная функция представляется прямой линией, что позволяет свести аппроксимацию функции к линейной регрессии.

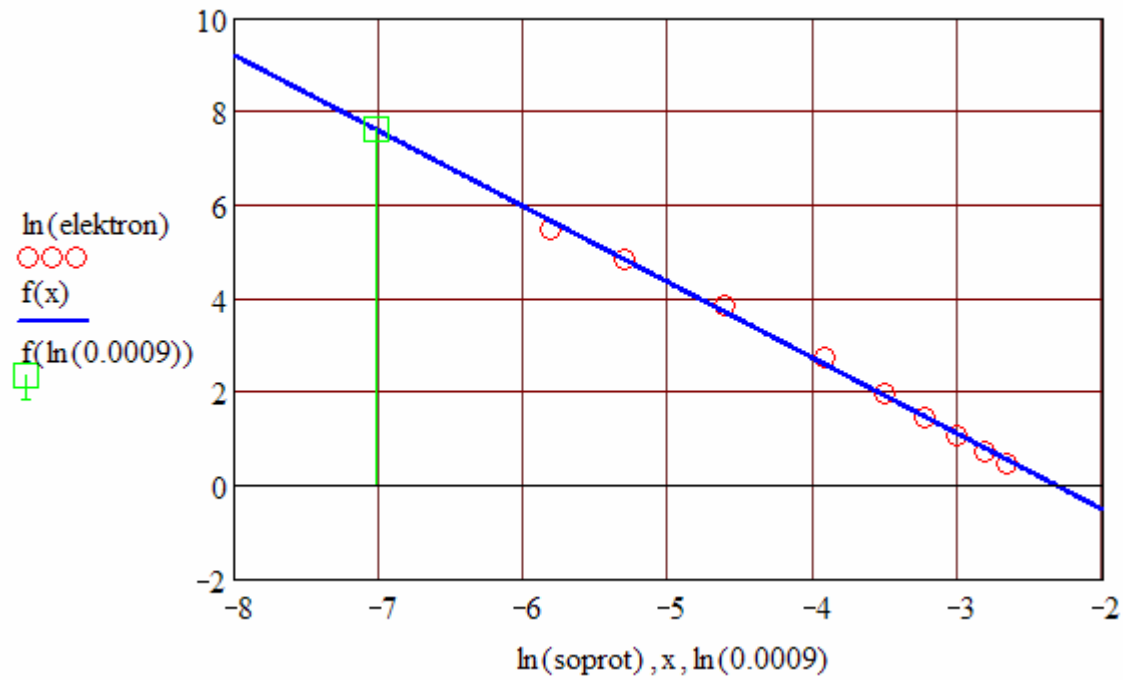
```
номер := 0,1..8
```

```
z := regress(ln(soprot),ln(elektron),8)
```

```
slope(ln(soprot),ln(elektron)) = -1.621
```

```
intercept(ln(soprot),ln(elektron)) = -3.763
```

```
f(x) := intercept(ln(soprot),ln(elektron)) + x·slope(ln(soprot),ln(elektron))
```



$$f(\ln(0.0009)) = 7.608$$

$$\text{ответ} := e^{f(\ln(0.0009))} \cdot 10^{17}$$

$$\text{ответ} = 2.014 \times 10^{20}$$

□

### **Работа 3. Нелинейные уравнения**

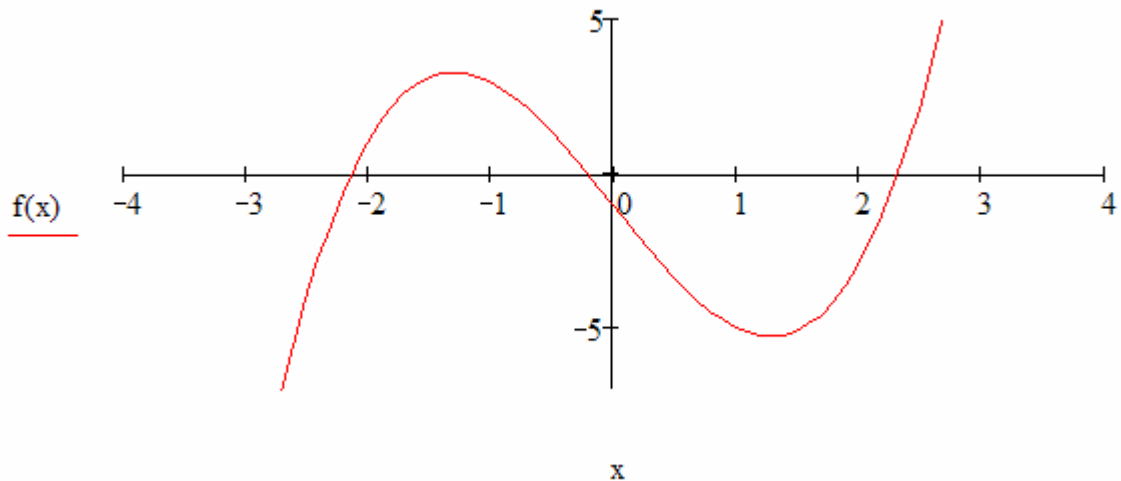
Задача: решить алгебраическое уравнение:

$$x^3 - 5 \cdot x - 1 = 0$$

*Решение.*

Этап первый: отделение корней.

Выполним отделение корней графически:



Вывод: уравнение имеет 3 корня.

*Этап второй: уточнение корней.*

Начальное приближение корня:

$$x := 0$$

Решение уравнения:

$$\text{root}(x^3 - 5 \cdot x - 1, x) = -0.202$$

Другой вариант записи:

$$f(x) := x^3 - 5 \cdot x - 1 \quad \text{root}(f(x), x) = -0.202$$

Функция  $\text{Root}(f(x_0), x_0)$ , где  $x_0$  – начальное приближение, возвращает такое значение  $x$ , при котором функция  $f(x)$  равна нулю.

Уточним другие корни:

$$x := 2 \quad \text{root}(x^3 - 5 \cdot x - 1, x) = 2.33$$

$$\underline{\underline{x}} := -2 \quad \text{root}(x^3 - 5 \cdot x - 1, x) = -2.128$$

□

## **Заключение**

Небольшой вводный курс по вычислительным методам в компьютерном инжиниринге не может охватить всю проблематику быстро развивающейся компьютерной отрасли. Далее следует углубить свои знания в области математики и программирования, совершенствовать навыки решения инженерных задач в интерфейсах распространенных программных сред, можно перейти к написанию прикладных программ для решения инженерных и проектных задач.



*Учебное издание*

Огородникова Ольга Михайловна

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
В КОМПЬЮТЕРНОМ ИНЖИНИРИНГЕ

Редакторы *Н.В.Рощина, Л.С.Гудкова*

Компьютерная верстка *К.Т.Горчаковой*

---

|                               |                   |                   |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Подписано в печать 29.04.2013 | Формат 60x90 1/16 |                   |
| Бумага писчая                 | Плоская печать    | Усл. печ. л. 8,25 |
| Уч.-изд. л. 7,0               | Тираж 75 экз.     | Заказ № 694       |

---

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 5  
Тел.: +7(343) 375-48-25  
[rio@mail.ustu.ru](mailto:rio@mail.ustu.ru)

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: +7(343) 350-56-64  
[pres-urfu@mail.ru](mailto:pres-urfu@mail.ru)